



TUGAS AKHIR - SS141501

# **ANALISIS HUBUNGAN CURAH HUJAN DAN INDIKATOR *EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION* DI SENTRA PRODUKSI PADI JAWA TIMUR DENGAN PENDEKATAN COPULA**

KARTIKA NUR 'ANISA'  
NRP 1311 100 067

Dosen Pembimbing  
Dr. Sutikno, S.Si., M.Si.

Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - SS141501**

# **RELATIONSHIP ANALYSIS OF RAINFALL AND EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION INDICATOR IN RICE PRODUCTION CENTER EAST JAVA USING COPULA**

**KARTIKA NUR 'ANISA'**  
**NRP 1311 100 067**

Supervisor  
Dr. Sutikno, S.Si., M.Si.

DEPARTMENT OF STATISTICS  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS HUBUNGAN CURAH HUJAN DAN  
INDIKATOR *EL-NINO SOUTHERN*  
*OSCILLATION* DI SENTRA PRODUKSI PADI  
JAWA TIMUR DENGAN PENDEKATAN  
COPULA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan  
Program Studi S-1 Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**KARTIKA NUR 'ANISA'**  
**NRP. 1311 100 067**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Sutikno, S.Si., M.Si.  
**NIP. 19710313 199702 1 001**



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS



Dr. Muhammad Mashuri, M.T.  
**NIP. 19620408 198701 1 001**

**SURABAYA, JANUARI 2015**

# ANALISIS HUBUNGAN CURAH HUJAN DAN INDIKATOR *EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION* DI SENTRA PRODUKSI PADI JAWA TIMUR DENGAN PENDEKATAN COPULA

**Nama Mahasiswa** : Kartika Nur 'Anisa'  
**NRP** : 1311 100 067  
**Jurusan** : Statistika FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Sutikno, S.Si., M.Si.

## ABSTRAK

*Analisis korelasi digunakan untuk mengidentifikasi pola hubungan antar variabel dengan asumsi data normal. Asumsi normal sering terlanggar jika terdapat amatan ekstrim dan salah satunya sering dijumpai pada data iklim, seperti curah hujan. Informasi curah hujan digunakan pada sektor pertanian sebagai informasi penentuan awal tanam dan selanjutnya sebagai peringatan dini kegagalan panen khususnya di wilayah irigasi non teknis (tadah hujan). Keragaman curah hujan di Indonesia seringkali dipengaruhi fenomena di Lautan Pasifik, yaitu El-Nino Southern Oscillation (ENSO). Oleh karena itu dilakukan identifikasi hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO di sentra produksi padi di Jawa Timur, yaitu: Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi. Metode yang digunakan adalah dengan pendekatan Copula, karena pola hubungan curah hujan dan ENSO di lima kabupaten tidak mengikuti distribusi normal. Selain itu, analisis korelasi klasik tidak dapat mengidentifikasi pola hubungan keduanya. Hasil penelitian menunjukkan struktur dependensi antara curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di lima kabupaten sebagian besar mengikuti Copula Frank. Sementara itu, struktur dependensi antara curah hujan dan Anomali SST Nino 4 serta SST Nino 3.4 mengikuti Copula Clayton, sedangkan dengan Anomali SST Nino 1+2 tidak mengikuti Copula apapun. Kesimpulan lain diperoleh bahwa kejadian ENSO pada bulan tertentu berpengaruh terhadap curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur satu bulan berikutnya.*

**Kata Kunci:** Anomali SST, Copula, ENSO, Iklim Ekstrim





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# RELATIONSHIP ANALYSIS OF RAINFALL AND EL-NINO SOUTHERN OSCILLATION INDICATOR IN RICE PRODUCTION CENTER EAST JAVA USING COPULA

**Name** : Kartika Nur 'Anisa'  
**NRP** : 1311 100 067  
**Department** : Statistics FMIPA-ITS  
**Supervisor** : Dr. Sutikno, S.Si., M.Si.

## ABSTRACT

*Correlation analysis is used to identify pattern of relationship among variables with normal distributed assumption. Normal assumption is often violated if there are extreme observations and one of them is common in climate data, such as rainfall. Rainfall information is used in agricultural sector as information on the determination to start planting and as early warning information of crop failures, especially in the area of non-technical irrigation (rain water). Variability of rainfall in Indonesia is often influenced by the phenomenon in Pacific Ocean, that is El-Nino Southern Oscillation (ENSO). Therefore, it is carried out the identification of relationship between rainfall and ENSO indicator in rice production center in East Java, e.g. : Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, and Ngawi. Copula method is used because pattern of relationship between rainfall and ENSO in five districts does not follow normal distribution. Besides, classic correlation analysis can not identify the pattern of both relationship. The result of the identification shows that most of the relationships in five districts of East Java with SST Nino Anomaly 3 follow Frank Copula. Dependency structures between rainfall with SST Nino Anomaly 4 and SST Nino Anomaly 3.4 follow Clayton Copula, while SST Nino Anomaly 1 + 2 does not follow any Copula. The other conclusion is ENSO events in the certain month will affect rainfall in five districts of East Java after one month later.*

**Keyword:** SST Anomaly, Copula, ENSO, Extreme Climate



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah, sehingga penulis bisa menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Hubungan Curah Hujan dan Indikator *El-Nino Southern Oscillation* di Sentra Produksi Padi Jawa Timur dengan Pendekatan Copula”** yang merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan sarjana sesuai kurikulum di Jurusan Statistika FMIPA-ITS dengan sebaik-baiknya dan tepat waktu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak, Ibu, Adik, dan keluarga penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan serta bimbingannya.
2. Bapak Dr. Sutikno, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberi arahan, bimbingan, waktu, semangat, dan perhatian sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Ibu Ir. Mutiah Salamah, M.Kes dan Bapak Dr. Purhadi, M.Sc. selaku dosen penguji yang sudah memberikan kritik dan saran demi kebaikan Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Ismaini Zain, M.Si. selaku dosen wali atas bimbingan yang diberikan selama menjadi mahasiswa di Jurusan Statistika FMIPA-ITS.
5. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T. selaku Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS.
6. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M.T. selaku koordinator program studi S1 Statistika FMIPA-ITS.
7. Ibu Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Program Studi S1.



8. Seluruh dosen, karyawan, dan staf Jurusan Statistika FMIPA-ITS.
9. Mbak Iis Dewi Ratih dan Mbak Rosna Malika yang selalu membantu dan membimbing penulis.
10. Bernadeta Chrisdayanti, Chusnul Khotimah, Faroh Ladayya, Cordova Ulin Nuha Kamila yang senantiasa mendampingi dan memberi semangat kepada penulis.
11. Teman-teman statistika 2011 yang senantiasa banyak membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.
12. Indah, Indana, Rizka Amalia, Reta, Charisma, Clara, Marina, Icha, Rizka Dewi, dan teman-teman seperjuangan Tugas Akhir yang selalu memberi semangat, sukses buat kita semua.
13. Semua pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi masyarakat dan mengembangkan ilmu pengetahuan. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis memohon maaf serta mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....   | i       |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....   | v       |
| <b>ABSTRAK</b> .....   | vii     |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | ix      |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....  | xi      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | xiii    |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....  | xvii    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....   | xix     |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....   | xxi     |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....   | 1       |
| 1.1    Latar Belakang.....   | 1       |
| 1.2    Perumusan Masalah.....  | 3       |
| 1.3    Tujuan.....   | 4       |
| 1.4    Manfaat Penelitian.....   | 4       |
| 1.5    Batasan Masalah.....  | 4       |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....   | 7       |
| 2.1    Korelasi.....   | 7       |
| 2.1.1    Korelasi Pearson ( $r$ ).....   | 7       |
| 2.1.2    Korelasi Spearman ( $r_s$ ).....  | 8       |
| 2.1.3    Korelasi Tau-Kendall ( $\hat{\tau}$ ).....  | 9       |
| 2.2    Uji Kolmogorov Smirnov.....   | 10      |
| 2.3    Uji Anderson Darling.....   | 11      |
| 2.4    Konsep Dasar Copula.....  | 11      |
| 2.5    Transformasi Variabel Random ke Domain<br>Uniform[0,1].....                           | 13      |
| 2.6    Keluarga Copula.....  | 14      |
| 2.6.1    Copula Gaussian.....  | 14      |
| 2.6.2    Copula Archimedean.....   | 15      |
| 2.7    Estimasi Parameter Copula dengan <i>Maximum</i><br><i>Likelihood Estimation</i> ..... | 16      |
| 2.8    Pengujian Estimasi Parameter Copula.....  | 19      |
| 2.9    Curah Hujan.....  | 20      |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.10  | ENSO ( <i>El Nino-Southern Oscillation</i> ).....   | 20        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>   |   | <b>23</b> |
| 3.1   | Sumber Data .....   | 23        |
| 3.2   | Variabel Penelitian.....  | 24        |
| 3.3   | Metode Analisis Data.....   | 25        |
| <b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b> |   | <b>29</b> |
| 4.1   | Pra-Pemrosesan Data Curah Hujan.....  | 29        |
| 4.2   | Identifikasi Hubungan Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur .....                              | 30        |
| 4.2.1                                       | Identifikasi Menggunakan <i>Scatterplot</i> .....   | 30        |
| 4.2.2                                       | Analisis Korelasi dengan Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall.....  | 32        |
| 4.2.3                                       | Uji Normalitas Data Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur.....                                 | 34        |
| 4.3   | Identifikasi Pola Hubungan Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Pendekatan Copula..... | 36        |
| 4.3.1                                       | Transformasi Variabel Random ke Uniform[0,1] .....  | 36        |
| 4.3.2                                       | Estimasi Parameter Copula .....   | 37        |
| 4.4   | Hubungan antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur .....                                    | 45        |
| 4.5   | Identifikasi Hubungan Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur .....                              | 45        |
| 4.5.1                                       | Identifikasi Menggunakan <i>Scatterplot</i> .....   | 46        |
| 4.5.2                                       | Analisis Korelasi dengan Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall.....  | 47        |
| 4.5.3                                       | Uji Normalitas Data Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur.....                                 | 50        |
| 4.6   | Identifikasi Pola Hubungan Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Pendekatan Copula..... | 51        |
| 4.6.1                                       | Transformasi Variabel Random ke Uniform[0,1] .....  | 51        |
| 4.6.2                                       | Estimasi Parameter Copula .....   | 52        |

|                              |   |           |
|------------------------------|---|-----------|
| 4.7                          | Hubungan antara Lag 1 Curah Hujan di Lima Kabupaten Jawa Timur dengan Indikator ENSO.....                               | 59        |
| 4.8                          | Identifikasi Hubungan Lag 2 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur .....  | 60        |
| 4.9                          | Perbandingan Identifikasi Pola Hubungan Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur pada Lag 0, Lag 1, dan Lag 2 ..... | 61        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>   |   | <b>65</b> |
| 5.1                          | Kesimpulan .....  | 65        |
| 5.2                          | Saran .....   | 66        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  |   | <b>67</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>         |   | <b>71</b> |
| <b>BIODATA PENULIS .....</b> |   | <b>71</b> |



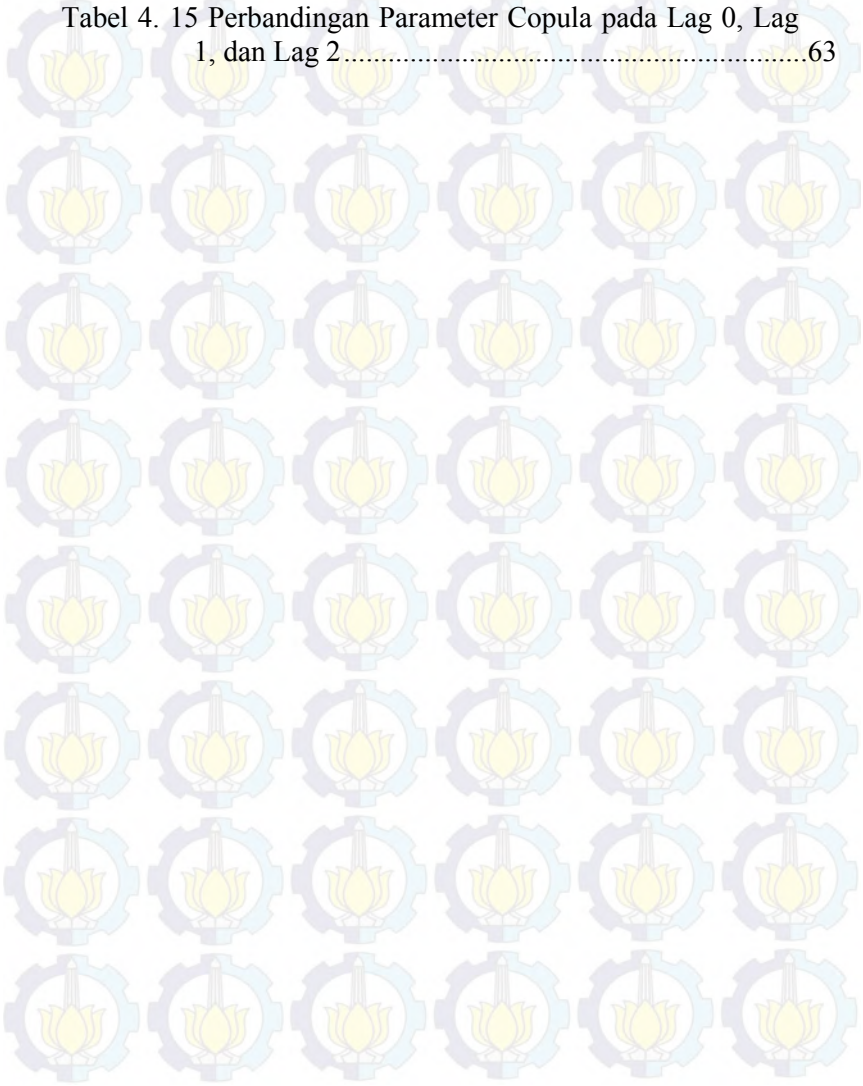


## DAFTAR TABEL

|  | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2. 1 Keluarga Copula Archimedean .....   | 16      |
| Tabel 2. 2 Estimasi Parameter Copula Archimedean .....   | 19      |
| Tabel 3.1 Variabel Penelitian .....  | 24      |
| Tabel 3.2 Struktur Curah Hujan dan Indikator ENSO .....  | 25      |
| Tabel 4. 1 Identifikasi <i>Missing Value</i> Data Curah Hujan .....  | 29      |
| Tabel 4.2 Koefisien Korelasi dan <i>P-value</i> antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO .....  | 32      |
| Tabel 4.3 Uji Normalitas Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling .....                               | 35      |
| Tabel 4.4 Parameter $\theta$ Masing-Masing Copula antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO .....  | 37      |
| Tabel 4.5 Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi .....       | 38      |
| Tabel 4. 6 Hasil <i>Fitting</i> Copula dengan MLE .....  | 41      |
| Tabel 4. 7 Parameter Copula Terpilih di Masing-Masing Kabupaten pada Lag 0 .....   | 45      |
| Tabel 4.8 Koefisien Korelasi. <i>P-value</i> antara Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO .....   | 48      |
| Tabel 4.9 Uji Normalitas Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling .....                 | 50      |
| Tabel 4.10 Parameter $\theta$ Masing-Masing Copula antara Data Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO .....  | 53      |
| Tabel 4.11 Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Data Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi ..... | 54      |
| Tabel 4.12 Hasil <i>Fitting</i> Copula dengan MLE .....  | 56      |
| Tabel 4.13 Parameter Copula Terpilih di Masing-Masing Kabupaten pada Lag 1 .....   | 60      |

Tabel 4.14 Parameter Copula Terpilih di Masing-Masing  
Kabupaten pada Lag 2.....61

Tabel 4. 15 Perbandingan Parameter Copula pada Lag 0, Lag  
1, dan Lag 2.....63



## DAFTAR GAMBAR

|  | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2. 1 Pola Copula (a) Clayton, (b) Frank, dan (c) Gumbel .....   | 16      |
| Gambar 2. 2 Pembagian Nino dan Letaknya.....   | 21      |
| Gambar 3.1 Lokasi Penelitian di Lima Kabupaten, yaitu: Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi .....   | 23      |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Analisis Data .....  | 28      |
| Gambar 4.1 <i>Scatterplot</i> dan Histogram antara Lag 0 Curah Hujan di Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 (d) Nino 3.4 Tahun 1982-2013.....                     | 31      |
| Gambar 4.2 <i>Scatterplot</i> Transformasi [0,1] antara Lag 0 Curah Hujan di Kabupaten Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 dan (d) Nino 3.4.....                  | 36      |
| Gambar 4. 3 <i>Scatterplot</i> Rank Copula antara Lag 0 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4.....                         | 44      |
| Gambar 4. 4 <i>Scatterplot</i> Rank Copula Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 0 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4..... | 44      |
| Gambar 4. 5 <i>Scatterplot</i> dan Histogram antara Lag 1 Curah Hujan di Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 (d) Nino 3.4 Tahun 1982-2013.....                    | 46      |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.6 <i>Scatterplot</i> Transformasi $[0,1]$ antara Lag 1 Curah Hujan di Kabupaten Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 dan (d) Nino 3.4.....                    | 52 |
| Gambar 4. 7 <i>Scatterplot</i> Rank Copula antara Lag 1 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4.....                             | 58 |
| Gambar 4. 8 <i>Scatterplot</i> Rank Copula Bangkitan Data ( $n=5000$ ) antara Lag 1 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4..... | 59 |

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Jawa Timur merupakan salah satu provinsi yang turut memberikan kontribusi besar dalam produksi padi nasional dengan produktivitas sebesar 59,15 Kw/Ha. Lima daerah pemasok padi terbesar (sentra produksi padi) di Jawa Timur yaitu: Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi. Terdapat dua hal yang menyebabkan produksi padi di lima daerah tersebut lebih banyak dari daerah lain di Jawa Timur, yaitu luas panen di lima daerah ini terbesar di Jawa Timur dan tingkat produktivitas padi cenderung di atas rata-rata tingkat produktivitas padi di seluruh Jawa Timur, kecuali Lamongan (58,40 Kw/Ha) dan Bojonegoro (56,28 Kw/Ha), sedangkan yang lainnya di atas produktivitas Jawa Timur yaitu jember (59,28 Kw/Ha), Banyuwangi (62,81 Kw/Ha), dan Ngawi (63,60 Kw/Ha) (BPS, 2013). Namun tidak jarang terjadi kegagalan panen yang mengakibatkan kegagalan produksi pangan. Berdasarkan BPS (2013), produktivitas padi di Jawa Timur pada tahun 2013 mengalami penurunan dari tahun sebelumnya sekitar 2,59 Kw/Ha atau mengalami penurunan sebesar 4,20 persen. Salah satu faktor penyebab terjadinya kegagalan panen, khususnya tanaman padi adalah faktor iklim. Suatu saat terjadi penurunan curah hujan, hingga mengalami kekeringan dan pada saat yang lain terjadi peningkatan curah hujan, hingga terjadi banjir. Kondisi ini dinamakan kejadian ekstrim, artinya tidak seperti biasanya. Oleh karena itu, upaya mempelajari karakteristik curah hujan perlu dilakukan untukantisipasi kegagalan panen.

Curah hujan adalah salah satu unsur iklim yang paling mencirikan iklim di Indonesia, karena memiliki keragaman dan fluktuatif yang tinggi di Indonesia. Setiap daerah di Indonesia memiliki karakteristik curah hujan yang berbeda-beda. Keragaman curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh fenomena di Lautan Pasifik, yaitu ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*).

ENSO mengukur perubahan yang terjadi pada suhu permukaan laut di timur Pasifik (Lefkovitz, 2013). ENSO memiliki dua fase yang berbeda, yaitu El Nino yang umumnya membawa dampak berupa berkurangnya curah hujan bahkan kekeringan, sedangkan La Nina membawa dampak berupa meningkatnya curah hujan yang dapat menyebabkan banjir. Penelitian mengenai keterkaitan curah hujan dan ENSO yang dilakukan oleh Mulyana (2002) menyimpulkan adanya hubungan antara ENSO dan variasi curah hujan di Indonesia. Penelitian lain menyebutkan curah hujan dipengaruhi oleh perubahan suhu samudera Pasifik (Kritman & Vecchi, 2011). ENSO tidak selalu memberikan pengaruh langsung, yaitu pada waktu yang sama terhadap perubahan curah hujan di Indonesia, karena keduanya mempunyai jarak yang cukup jauh dan kemungkinan adanya faktor lain yang mempengaruhi hal tersebut. Penelitian yang telah dilakukan oleh Swarinoto, Koesmaryono, Aldrian, dan Wigena (2013) menyebutkan *time lag* data Suhu Muka Laut (SML) dapat digunakan sebagai prediktor dalam memprediksi hujan bulanan di Kabupaten Indramayu. SML memerlukan waktu untuk mempengaruhi curah hujan di Kabupaten Indramayu dikarenakan beberapa faktor yang perlu diperhatikan, seperti jarak dan perubahan angin.

Metode untuk identifikasi pola hubungan antara curah hujan dan ENSO seringkali masih menggunakan korelasi pearson. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan dengan metode tersebut antara lain penelitian oleh Bachtiar dan Novico (2012) memetakan potensi bahaya daerah pantai terhadap perubahan iklim dengan salah satu parameternya adalah ENSO. Mulyana (2002) melakukan penelitian yang menyatakan ENSO mempengaruhi variasi curah hujan di Indonesia. Selain itu penelitian lain dilakukan Hanggoro, Harmoko, dan Makmur (2012) mengenai simulasi hujan ekstrim pada kejadian banjir di Mataram. Penelitian tersebut masih menggunakan analisis korelasi pearson untuk mengetahui hubungan antar variabelnya. Analisis korelasi pearson dapat digunakan dengan tepat jika



memenuhi asumsi data berdistribusi normal. Asumsi kenormalan seringkali terlanggar jika terdapat data amatan ekstrim, sehingga pola hubungan akan sulit terdeteksi. Oleh karena itu diperlukan metode untuk analisis hubungan tanpa terikat oleh asumsi distribusi khususnya asumsi distribusi normal.

Copula merupakan salah satu metode statistika yang dapat menggambarkan hubungan antar variabel yang tidak terlalu ketat terhadap asumsi distribusi, serta dapat menunjukkan hubungan dependensi pada titik-titik ekstrim dengan jelas. Metode ini mempunyai kemampuan untuk mendeskripsikan struktur dependensi antar variabel dengan marginal yang berbeda dan memodelkan dependensi *tail*-nya. Copula adalah suatu fungsi dari dua hubungan distribusi yang masing-masing mempunyai fungsi marginal distribusi (Nelsen, 1998). Beberapa penelitian mengenai Copula telah dilakukan, antara lain penelitian oleh Murteira dan Lourenço (2007) mengenai penggunaan Copula pada kasus kesehatan. Zhu, Ghosh, dan Goodwin (2008) menerapkan Copula untuk memodelkan asuransi. Syahrir (2011) menerapkan Copula pada bidang klimatologi. Hasil penelitian menunjukkan pendekatan dengan Copula memberikan hasil yang tepat untuk data pengamatan ekstrim dan untuk kondisi dengan asumsi-asumsi kenormalan yang terlanggar. Begitu juga dengan penelitian ini menggunakan pendekatan Copula untuk mengetahui pola hubungan curah hujan dan indikator ENSO. Penelitian ini dilakukan di Jawa Timur khususnya di daerah yang merupakan sentra produksi padi Jawa Timur.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dalam penelitian ini rumusan masalah yang dibahas sebagai acuan untuk analisis adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana deskripsi curah hujan dan indikator ENSO *Sea Surface Temperature* di sentra produksi padi Jawa Timur?
2. Bagaimana pola hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO *Sea Surface Temperature* di sentra produksi padi Jawa Timur dengan pendekatan Copula?



3. Bagaimana analisis pola hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO di sentra produksi padi Jawa Timur dengan perbedaan *time lag*?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang didapatkan dari penelitian ini adalah berikut.

1. Mendeskripsikan curah hujan dan indikator ENSO *Sea Surface Temperature* di sentra produksi padi Jawa Timur.
2. Mengetahui pola hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO *Sea Surface Temperature* di sentra produksi padi Jawa Timur dengan pendekatan Copula.
3. Mengetahui pola hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO di sentra produksi padi Jawa Timur dengan perbedaan *time lag*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi pengembangan keilmuan, dapat memahami metode Copula untuk mengatasi kasus yang tidak memenuhi asumsi distribusi normal dan pada kejadian ekstrim.
2. Bagi BMKG dan Departemen Pertanian, dapat dijadikan sebagai metode untuk menentukan *early warning system* yang melibatkan faktor curah hujan dan indikator ENSO di dalamnya.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan periode tahun 1982 sampai dengan tahun 2013 di Jawa Timur, khususnya kabupaten yang merupakan sentra produksi padi (Kabupaten Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi)

2. Data indikator ENSO yang digunakan adalah anomali *Sea Surface Temperature* (SST) Nino 1+2, SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4.
3. Copula yang digunakan adalah Copula Ellips (Copula Gaussian) dan Copula Archimedean (Copula Clayton, Copula Frank, dan Copula Gumbel).



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Korelasi

Analisis korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur besarnya hubungan linier antara dua variabel dengan satu nilai yang dinamakan koefisien korelasi (Walpole, 2007). Nilai korelasi berkisar pada interval  $-1 \leq \rho \leq 1$ . Jika korelasi positif, maka hubungan antara dua variabel adalah searah. Jika korelasi bernilai negatif, maka hubungan antara dua variabel adalah berlawanan. Taksiran  $\rho$  yang dekat ke satu, berarti adanya korelasi yang baik atau ikatan linier, sedangkan nilai dekat dengan nol menunjukkan korelasi yang kecil atau tidak ada korelasi. Berdasarkan skala pengamatan pada data pengamatan, korelasi dibedakan sebagai berikut.

1. Korelasi Pearson untuk mengetahui hubungan antara dua variabel yang mempunyai skala interval atau rasio (untuk statistik parametrik).
2. Korelasi Tau-Kendall dan korelasi Rank Spearman untuk mengetahui hubungan antara dua variabel yang memiliki skala ordinal (untuk statistik nonparametrik).

#### 2.1.1 Korelasi Pearson ( $r$ )

Korelasi pearson merupakan korelasi parametrik, data yang digunakan harus berskala interval atau rasio serta berdistribusi normal. Formula untuk koefisien korelasi pearson didefinisikan sebagai berikut (Walpole, 2007).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}; -1 \leq r \leq 1 \quad (2.1)$$

dengan  $X$  dan  $Y$  adalah variabel-variabel yang diamati dan  $n$  adalah banyak amatan. Pengujian hipotesis yang digunakan adalah berikut.



$H_0: \rho = 0$  (tidak ada korelasi antara  $X$  dan  $Y$ )

$H_1: \rho \neq 0$  (ada korelasi antara  $X$  dan  $Y$ )

Statistik uji:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2.2)$$

merupakan suatu nilai berdistribusi  $t$  dengan derajat bebas  $v = n - 2$

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|t| > t_{\alpha/2, v}$  atau  $p\text{-value} < \alpha$ .

### 2.1.2 Korelasi Spearman ( $r_s$ )

Korelasi Spearman termasuk dalam kategori statistik nonparametrik yang diperkenalkan oleh Spearman tahun 1904. Asumsi yang harus terpenuhi antara lain, data merupakan sebuah sampel acak yang terdiri dari  $n$  pasangan hasil pengamatan numerik atau nonnumerik. Data yang digunakan sekurang-kurangnya berskala ordinal untuk dianalisis dengan cara data diperingkat. Data yang dianalisis tidak harus memenuhi distribusi normal (Daniel, 1989). Berikut adalah pengujian hipotesis yang digunakan.

$H_0: \rho = 0$  (tidak ada korelasi antara  $X$  dan  $Y$ )

$H_1: \rho \neq 0$  (ada korelasi antara  $X$  dan  $Y$ )

Statistik uji:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.3)$$

dengan 
$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n [R(X_i) - R(Y_i)]^2 \quad (2.4)$$

keterangan:  $R(X_i)$  = peringkat dari  $X_i$

$R(Y_i)$  = peringkat dari  $Y_i$

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|r_s| > r_{1-\alpha/2, n}$  dengan  $r_{1-\alpha/2}$  didapatkan dari tabel harga-harga kritis statistik uji korelasi Spearman.

Jika ukuran sampel lebih dari 30 maka memiliki distribusi normal standar dengan statistik uji yang digunakan seperti pada persamaan (2.5) berikut.

$$z = r_s \sqrt{n-1} \quad (2.5)$$

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|z| > z_{\alpha/2}$  atau  $p\text{-value} < \alpha$ .

### 2.1.3 Korelasi Tau-Kendall ( $\hat{\tau}$ )

Korelasi Tau-Kendall termasuk dalam kategori statistik nonparametrik yang diperkenalkan oleh Kendall tahun 1983. Koefisien korelasi  $\hat{\tau}$  memiliki nilai antara -1 hingga +1 dan didasarkan pada peringkat-peringkat hasil pengamatan. Sehingga ukuran korelasi menuntut kedua variabel diukur sekurang-kurangnya dalam skala ordinal. Asumsi lain yang harus terpenuhi adalah data merupakan sampel acak yang terdiri atas  $n$  pasangan hasil pengamatan  $(X_i, Y_i)$ . Masing-masing pasangan hasil pengamatan diperoleh dari dua pengukuran yang dilakukan pada unit pengamatan yang sama. Salah satu perbedaan antara  $\hat{\tau}$  dan  $r_s$  adalah  $\hat{\tau}$  merupakan penduga tak bias untuk parameter populasi, sedangkan  $r_s$  tidak memberikan dugaan untuk koefisien korelasi peringkat suatu populasi. Hipotesis yang digunakan adalah berikut (Daniel, 1989).

$H_0: \tau = 0$  (tidak ada korelasi antara  $X$  dan  $Y$ )

$H_1: \tau \neq 0$  (ada korelasi antara  $X$  dan  $Y$ )

Statistik uji:

$$\hat{\tau} = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (2.6)$$

dengan  $S = P - Q$

keterangan:  $P$  = banyak pasangan berurutan wajar

$Q$  = banyak pasangan berurutan terbalik

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|\tau| > \tau_{\alpha/2, n}$  dengan  $\tau_{\alpha/2}$  didapatkan dari tabel harga-harga kritis statistik uji korelasi Tau-Kendall.

Jika ukuran sampel lebih dari 10 maka distribusi yang digunakan adalah distribusi normal, yaitu pada persamaan (2.7) (Daniel, 1989).

$$z = \frac{3\hat{\tau}\sqrt{n(n-1)}}{\sqrt{2(2n+5)}} \quad (2.7)$$

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|z| > z_{\alpha/2}$  atau  $p\text{-value} < \alpha$ .

## 2.2 Uji Kolmogorov Smirnov

Uji Kolmogorov Smirnov diperkenalkan oleh Kolmogorov (1933) dan Smirnov (1939). Pengujian ini digunakan untuk menguji normalitas suatu data. Data yang digunakan minimal skala ordinal. Pengujian hipotesis yang digunakan adalah berikut.

$H_0: F(x) = F_0(x)$  untuk semua nilai  $x$

$H_1: F(x) \neq F_0(x)$  untuk sekurang-kurangnya sebuah nilai  $x$  dengan

$F(x)$  adalah fungsi distribusi berdasarkan data (belum diketahui)

$F_0(x)$  adalah fungsi distribusi sesuai yang dihipotesiskan (Normal)

Statistik uji:

$$D = \sup_x |S(x) - F_0(x)| \quad (2.8)$$

dengan  $S(x)$  adalah proporsi nilai-nilai pengamatan dalam sampel yang kurang dari atau sama dengan  $x$ .

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $D > D_\alpha$  dengan  $D_\alpha$  didapatkan dari tabel Kolmogorov Smirnov satu sampel (Daniel, 1989).



### 2.3 Uji Anderson Darling

Metode ini termasuk dalam salah satu uji kenormalan yang mengukur penyimpangan distribusi berdasarkan data (*empirical distribution function/ EDF*) terhadap *cumulative distribution function* (CDF) yang diasumsikan, dalam hal ini adalah distribusi normal (Stephens, 1974). Anderson dan Darling (1954) mendefinisikan statistik uji seperti pada persamaan (2.9).

$$A_n^2 = n \int_{-\infty}^{\infty} \{F_n(x) - F(x)\}^2 \psi(x) dF(x) \quad (2.9)$$

dengan  $\psi(x) = [\{F(X)\{1 - F(X)\}\}]$  adalah fungsi pembobot non negatif. Untuk perhitungan lebih mudah, statistik uji Anderson Darling menjadi persamaan (2.10) (Arshad, Rasool, & Ahmad, 2003).

$$A_n^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \left\{ \log Z_{(i)} + \log (1 - Z_{(n+1-i)}) \right\} \quad (2.10)$$

dengan  $Z_i = F(X_i), i = 1, 2, \dots, n$  adalah fungsi distribusi kumulatif dari distribusi tertentu.

### 2.4 Konsep Dasar Copula

Copula digunakan untuk mendeskripsikan hubungan antar variabel random. Copula adalah probabilitas distribusi multivariat untuk probabilitas distribusi marginal dengan masing-masing variabel berdistribusi uniform (Nelsen, 1998). Teorema Sklar (1959) menyatakan bahwa beberapa *multivariate joint distribution* dapat dinyatakan dalam fungsi *univariate marginal distribution* dan Copula dapat mendeskripsikan struktur keterkaitan atau hubungan fungsi distribusi multivariat dengan distribusi marginalnya. Kelebihan Copula lainnya adalah dapat mendeteksi dependensi antar variabel random baik linear maupun non-linear, tidak harus memenuhi syarat identik untuk distribusi marginalnya (meskipun distribusi marginal dari masing-masing variabel random tidak diketahui) karena data yang dianalisis



ditransformasikan ke domain Uniform[0,1] terlebih dulu, tidak ketat terhadap asumsi distribusi (khususnya distribusi normal), dan *invariant* (tidak berubah) terhadap transformasi variabel random yang *strictly increasing*.

Apabila terdapat vektor random  $(X_1, X_2, \dots, X_m)$  memiliki fungsi distribusi kumulatif marginal  $F_{X_1}, F_{X_2}, \dots, F_{X_m}$  dengan domain  $\mathbf{R}$  yang tidak turun, yaitu  $F_{X_i}(-\infty) = 0$  dan  $F_{X_i}(\infty) = 1$  maka sesuai Teorema Sklar (1959), distribusi bersamanya (*joint distribution function*) dibentuk dengan memakai fungsi Copula seperti persamaan (2.11).

$$F_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(x_1, x_2, \dots, x_m) = C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(F_{X_1}(x_1), F_{X_2}(x_2), \dots, F_{X_m}(x_m)) \quad (2.11)$$

$F_x$  merupakan fungsi monoton naik atau fungsi *2-increasing*, dengan  $F_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(x, -\infty) = 0$  dan  $F_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(-\infty, \infty) = 1$ .

$C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}$  adalah Copula dengan  $C_x : [0,1] \times \dots \times [0,1] \rightarrow [0,1]$  merupakan distribusi bersama dari transformasi variabel random  $U_i = F_{X_i}(X_i)$  untuk  $i = 1, 2, \dots, m$  dengan  $U_i$  berdistribusi marginal Uniform. Nelsen (1998) menyatakan jika fungsi distribusi marginal dari  $F_{X_i}(X_i)$  adalah kontinu, maka  $C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}$  adalah unik dan dapat ditunjukkan pada persamaan (2.12) berikut.

$$C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(u_1, u_2, \dots, u_m) = \int_0^{u_1} \int_0^{u_2} \dots \int_0^{u_m} c_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(u_1, u_2, \dots, u_m) du_1 du_2 \dots du_m \quad (2.12)$$

dengan  $C$  adalah fungsi kumulatif Copula dan  $c$  adalah persamaan densitas Copula. Pada kasus distribusi kontinu,

struktur dependensi multivariat dan distribusi marginal dapat dipisahkan dan Copula dapat dianggap *independent margin*.

## 2.5 Transformasi Variabel Random ke Domain Uniform[0,1]

Langkah awal analisis dengan Copula adalah dilakukan transformasi variabel random ke domain Uniform[0,1]. Persamaan (2.13) menyatakan distribusi marginal variabel random  $X_i$  yang tidak diketahui.

$$F_{X_i}(x_i) = \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^n \mathbf{1}(X_i^{(j)} \leq x); x_i \in R \quad (2.13)$$

Transformasi data ke domain Uniform[0,1] dilakukan dengan pembuatan *scatterplot* [0,1] dengan membuat rank plot  $X_i$  pada persamaan (2.14).

$$\left( \left( \frac{R_1^{(j)}}{n+1} \right), \left( \frac{R_2^{(j)}}{n+1} \right), \dots, \left( \frac{R_m^{(j)}}{n+1} \right) \right), 1 \leq j \leq n \quad (2.14)$$

dengan  $R_1^{(j)}, R_2^{(j)}, \dots, R_m^{(j)}$  adalah rank dari  $X_1, X_2, \dots, X_m$  yang sebelumnya sudah diubah menjadi bentuk matriks. Sesuai transformasi pada persamaan (2.14), persamaan Copula dapat diberikan pada persamaan (2.15) (Genest & Nešlehová, 2010).

$$C(u_1, \dots, u_m) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbf{1} \left( \frac{R_1^{(j)}}{n+1} \leq u_1, \dots, \frac{R_m^{(j)}}{n+1} \leq u_m \right) \quad (2.15)$$

$$u_1, \dots, u_m \in (0, 1)$$

dengan  $\mathbf{1}(\cdot)$  pada persamaan (2.13) dan (2.15) merupakan fungsi

indikator jika masing-masing  $X^{(j)} \leq x$  dan  $\frac{R_i^{(j)}}{n+1} \leq u_i, i = 1, 2, \dots, m$

(Berg & Bakken, 2006).

## 2.6 Keluarga Copula

Terdapat banyak keluarga Copula, beberapa keluarga Copula diantaranya adalah Copula Archimedean, Copula Elips, Copula *Bivariate Extreme Value*, dan Copula Marshal-Olkin. Keluarga Copula yang paling populer adalah Copula Archimedean dan Copula Elips. Berikut adalah penjelasan masing-masing Copula.

### 2.6.1 Copula Gaussian

Copula Gaussian atau Copula Normal merupakan salah satu keluarga Copula Elips. Copula Elips merupakan Copula yang berdistribusi elips. Copula Gaussian diperoleh dari transformasi variabel random ke distribusi normal standar. Vektor random  $(X_1, X_2, \dots, X_m)$  mempunyai distribusi kumulatif marginal, yaitu  $F_{X_1}, F_{X_2}, \dots, F_{X_m}$  dengan  $U_i = F_{X_i}(X_i) \sim U(0,1)$ , sehingga setiap variabel dapat ditransformasikan menjadi variabel random normal standar multivariat seperti pada persamaan (2.16) berikut.

$$Z_i = F_{N(0,1)}^{-1}(F_{X_i}(x_i)) \sim N(0,1) \quad (2.16)$$

dengan  $i = 1, 2, \dots, m$  serta asumsi  $(Z_1, Z_2, \dots, Z_m)^T$  berdistribusi normal standar multivariat  $N(0, \Sigma)$  dengan PDF  $f_{N(0, \Sigma)}$  dan matriks kovarian  $\Sigma$ . Fungsi Copula Gaussian diberikan pada persamaan (2.17) berikut.

$$C_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(u_1, u_2, \dots, u_m) = F_{N(0, \Sigma)}\left(F_{N(0,1)}^{-1}(u_1), F_{N(0,1)}^{-1}(u_2), \dots, F_{N(0,1)}^{-1}(u_m)\right) \quad (2.17)$$

dengan

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1m} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{m1} & \sigma_{m2} & \dots & \sigma_{mm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1m} \\ \sigma_{21} & 1 & \dots & \sigma_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{m1} & \sigma_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$



sehingga densitas Copula Normal diberikan pada persamaan (2.18).

$$\begin{aligned}
 c_{(X_1, X_2, \dots, X_m)}(u_1, u_2, \dots, u_m) &= \frac{\partial}{\partial u_1} \cdot \frac{\partial}{\partial u_2} \dots \frac{\partial}{\partial u_m} \cdot C_X(u_1, u_2, \dots, u_m) \\
 &= \frac{f_{N(0, \Sigma)}(F_{N(0,1)}^{-1}(u_1), F_{N(0,1)}^{-1}(u_2), \dots, F_{N(0,1)}^{-1}(u_m))}{\prod_{i=1}^m (f_{N(0,1)}(F_{N(0,1)}^{-1}(u_i)))}
 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Jika Copula Normal digunakan pada distribusi normal multivariat, maka diasumsikan memiliki hubungan yang linear (Schölzel & Friederichs, 2008).

### 2.6.2 Copula Archimedean

Copula Archimedean memiliki bentuk distribusi dengan *tail* dependensi yang menunjukkan probabilitas kondisional pada daerah ekstrim. Apabila terdapat  $\phi: [0,1] \rightarrow [0, \infty)$  bersifat kontinu, menurun, dan merupakan fungsi konvek maka  $\phi(0) = \infty$  dan  $\phi(1) = 0$ .  $\phi^{-1}: [0, \infty) \rightarrow [0,1]$  adalah invers dari  $\phi$ . Fungsi dari Copula Archimedean  $C: [0,1]^m \rightarrow [0,1]$  dapat ditulis dalam persamaan (2.19) (Nelsen, 1998).

$$C(u_1, u_2, \dots, u_m) = \phi^{-1} \{ \phi(u_1) + \phi(u_2) + \dots + \phi(u_m) \} \quad (2.19)$$

dengan  $\phi: [0,1] \rightarrow [0, \infty)$  merupakan monoton sempurna, yaitu

$$(-1)^k \frac{\partial^k}{\partial u^k} \phi^{-1}(u) \geq 0, k \in \mathbb{N} \quad (2.20)$$

$\phi$  adalah Generator Copula  $C$  dan memiliki satu parameter  $\theta$  (Kpanzou, 2007). Berbagai macam keluarga Copula Archimedean, yaitu: Copula Clayton, Gumbel, dan Frank beserta generatornya disajikan pada Tabel 2.1.

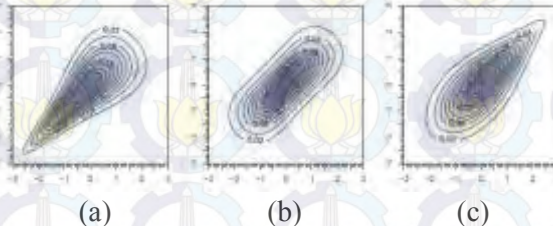


**Tabel 2. 1** Keluarga Copula Archimedean

| Copula  | Generator $\phi(u)$  | Copula Bivariat $C(u_1, u_2)$  |
|---------|--|--|
| Clayton | $\frac{u^{-\theta} - 1}{\theta}, \theta \in (0, \infty)$   | $(u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{-\frac{1}{\theta}}$  |
| Gumbel  | $(-\log(u))^\theta, \theta \in [1, \infty)$  | $\exp \left\{ - \left[ (-\log(u_1))^\theta + (-\log(u_2))^\theta \right]^{\frac{1}{\theta}} \right\}$      |
| Frank   | $\log \left( \frac{e^{\theta u} - 1}{e^\theta - 1} \right), \theta \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ | $\frac{1}{\theta} \log \left( 1 + \frac{(e^{\theta u_1} - 1)(e^{\theta u_2} - 1)}{(e^\theta - 1)} \right)$ |

(Sumber : Kpanzou, 2007)

Setiap keluarga Copula Archimedean memiliki *tail* dependensi yang berbeda. Copula Clayton memiliki *tail* dependensi bagian bawah, Copula Frank tidak memiliki *tail* dependensi, sedangkan Copula Gumbel memiliki *tail* dependensi bagian atas. Pola masing-masing Copula ditunjukkan pada Gambar 2. 1 berikut.



**Gambar 2. 1** Pola Copula (a) Clayton, (b) Frank, dan (c) Gumbel  
(Sumber : Schölzel & Friederichs, 2008)

## 2.7 Estimasi Parameter Copula dengan *Maximum Likelihood Estimation*

Menurut Mikosch (2008), estimasi parameter Copula didapatkan dengan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). MLE untuk Copula diperoleh dengan memaksimumkan fungsi log

likelihood. Fungsi densitas  $f$  ditulis dalam bentuk Copula pada persamaan (2.21).

$$f(x_1, \dots, x_m) = c\{F_{x_1}(x_1), \dots, F_{x_m}(x_m)\} f_{x_1}(x_1) \times \dots \times f_{x_m}(x_m); x \in R \quad (2.21)$$

dengan MLE, fungsi likelihood  $L$  dan log likelihood dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} L &= \prod_{j=1}^n f(x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)}) \\ &= \prod_{j=1}^n \left( c\{F_{x_1}(x_1^{(j)}), \dots, F_{x_m}(x_m^{(j)})\} f_{x_1}(x_1^{(j)}) \times \dots \times f_{x_m}(x_m^{(j)}) \right) \\ \ln L &= \sum_{j=1}^n \ln c\{F_{x_1}(x_1^{(j)}), \dots, F_{x_m}(x_m^{(j)})\} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \ln(f_{x_i}(x_i^{(j)})) \end{aligned} \quad (2.22)$$

Persamaan (2.23) berikut adalah fungsi untuk Copula Archimedean dalam multivariat.

$$C(u_1, u_2, \dots, u_m) = \phi^{-1}\{\phi(u_1) + \phi(u_2) + \dots + \phi(u_m)\} \quad (2.23)$$

Fungsi likelihood untuk Copula Archimedean dituliskan seperti persamaan (2.24).

$$L(\theta) = \prod_{j=1}^n c_{\theta}(u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{mj}) \quad (2.24)$$

Masing-masing Copula Archimedean memiliki fungsi likelihood yang berbeda, fungsi likelihood Copula Clayton adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \prod_{j=1}^n c_{\theta}(u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{mj}) &= \prod_{j=1}^n \left[ \sum_{i=1}^m u_{ij}^{-\theta} - m + 1 \right]^{-1/\theta} \\ L &= \left[ \sum_{i=1}^m u_{i1}^{-\theta} - m + 1 \right]^{-1/\theta} \dots \left[ \sum_{i=1}^m u_{in}^{-\theta} - m + 1 \right]^{-1/\theta} \end{aligned}$$

$$\ln L = n \left[ m \log(\theta) + \log \left( \Gamma \left( \frac{1}{\theta} \right) + m \right) - \log \left( \Gamma \left( \frac{1}{\theta} \right) \right) \right] - (\theta + 1) \sum_{i,j} \log u_{ij} - \left( \frac{1}{\theta} + m \right) \sum_i \log \left( \sum_j u_{i,j}^{-\theta} - m + 1 \right) \quad (2.25)$$

Diberikan  $g(\cdot)$  adalah turunan dari  $\log(\Gamma(\cdot))$ . Turunan pertama dari persamaan (2.25) dapat dituliskan seperti persamaan (2.26).

$$\begin{aligned} \frac{d \ln L}{d \theta} = n & \left[ \frac{m}{\theta} + g \left( \frac{1}{\theta} + m \right) \frac{-1}{\theta^2} - g \left( \frac{1}{\theta} \right) \frac{-1}{\theta^2} \right] - \sum_{i,j} \log u_{ij} + \\ & \frac{1}{\theta^2} \sum_i \log \left( \sum_j u_{i,j}^{-\theta} - m + 1 \right) - \\ & \left( \frac{1}{\theta} + m \right) \sum_i \frac{-\sum_j u_{i,j}^{-\theta} \log(u_{ij})}{\sum_j u_{i,j}^{-\theta} - m + 1} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Fungsi likelihood pada estimasi parameter Copula Archimedean dengan MLE pada persamaan (2.26) tidak menghasilkan bentuk *closed form*, sehingga untuk alternatif pada estimasi parameter Copula Archimedean dapat menggunakan pendekatan Tau-Kendall. Estimasi parameter Copula Archimedean dengan pendekatan Tau-Kendall diberikan pada persamaan (2.27) (Genest & Riverst, 1993).

$$\tau_c = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\phi(u)}{\phi'(u)} du \quad (2.27)$$

Berdasarkan persamaan (2.23)  $\tau$  dinyatakan dengan  $\phi$  dan  $\phi'$  adalah fungsi dari  $\theta$  sehingga estimasi  $\hat{\theta}$  dari  $\theta$  diperoleh persamaan (2.28) berikut.

$$\hat{\tau}_c = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\phi(u)}{\phi'(u)} du \quad (2.28)$$

Pendekatan Tau-Kendall untuk masing-masing Copula Clayton, Frank dan Gumbel (Embrechts, Lindskog, & McNeil, 2001) disajikan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Estimasi Parameter Copula Archimedean

| No | Copula  | Estimasi $\hat{\theta}$  |
|----|---------|--|
| 1. | Clayton | $\hat{\tau} = \frac{\theta_c}{\theta_c + 2}$ maka $\hat{\theta}_c = \frac{2\tau}{1-\tau}$  |
| 2. | Gumbel  | $\hat{\tau} = 1 - \frac{1}{\theta_G}$ maka $\hat{\theta}_G = \frac{1}{1-\tau}$             |
|    |         | $\hat{\tau} = 1 - \frac{4(1 - D_1(\theta_F))}{\theta_F}$                                   |
| 3. | Frank   | dengan $D_k(x) =$ fungsi Debye<br>$D_k(x) = \frac{k}{x^k} \int_0^x \frac{u^k}{e^u - 1} du$ |

## 2.8 Pengujian Estimasi Parameter Copula

Setelah dilakukan estimasi parameter dengan pendekatan MLE, maka dilakukan pengujian estimasi parameter Copula untuk mengetahui parameter yang signifikan. Menurut Wang (2010) didefinisikan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : C = C_\theta$$

$$H_1 : C \neq C_\theta$$

dengan  $C_\theta$  adalah model Copula dalam keluarga Copula Archimedean. Di bawah hipotesis nol dengan variabel random mengikuti beberapa model Copula  $C_\theta$ , maka distribusi menjadi  $\sqrt{n}Z_n \rightarrow N(0,1)$  adalah distribusi normal standar. Hipotesis yang digunakan dapat didefinisikan sebagai berikut.



$$H_0 : \theta = \theta_0$$

$$H_1 : \theta \neq \theta_0$$

Statistik uji:

$$z = \frac{\hat{\theta} - \theta_0}{SE(\hat{\theta})} \quad (2.29)$$

Daerah penolakan: Tolak  $H_0$  jika  $|z| > z_{\alpha/2}$  atau  $p\text{-value} < \alpha$ .

Jika tolak  $H_0$  maka data dapat dimodelkan oleh Copula Achimedean yang diasumsikan.

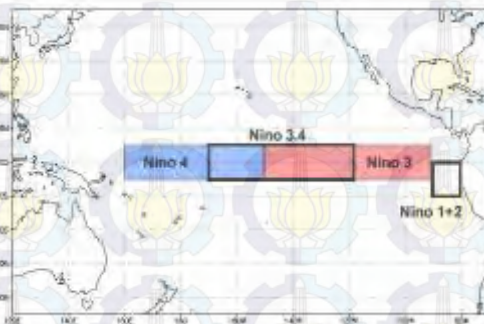
## 2.9 Curah Hujan

Curah hujan adalah salah satu unsur iklim terpenting di Indonesia karena memiliki keragaman yang cukup tinggi di Indonesia. Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Satuan curah hujan adalah mm. Arti dari curah hujan 1 milimeter adalah dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Curah hujan kumulatif (mm) merupakan jumlah hujan yang terkumpul dalam rentang waktu kumulatif tersebut. Dalam periode musim, rentang waktu curah hujan adalah rata-rata panjang musim pada masing-masing daerah prakiraan musim (Mangostina, 2010).

## 2.10 ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*)

ENSO merupakan fenomena alam yang muncul di sekitar Samudera Pasifik dan mempengaruhi kondisi cuaca di sekitarnya, terjadi karena adanya interaksi antara laut dan atmosfer. ENSO mengukur perubahan yang terjadi pada suhu permukaan air laut di garis *equator* bagian tengah dan timur Pasifik. Fenomena ENSO disebabkan oleh pergantian iklim yang berbeda setiap tahun dari kondisi cuaca yang terjadi. ENSO merupakan salah satu sumber utama variabilitas antar tahunan musim dan iklim di dunia.

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa di beberapa daerah, keragaman ENSO menjelaskan hampir 50% dari total keragaman yang terjadi pada kondisi cuaca lokal (Lefkovitz, 2013). Ketika fase panas dikenal sebagai El Nino dan fase dingin dikenal sebagai La Nina. El Nino merupakan peristiwa memanasnya suhu permukaan laut (SST) di Samudera Pasifik dengan anomali lebih dari  $0,5^{\circ}\text{C}$  dan akan berdampak terhadap berkurangnya hujan di Indonesia bagian Tengah dan Timur. La Nina adalah penurunan suhu muka laut di bawah normal di Samudera Pasifik atau anomali  $0,5^{\circ}\text{C}$  di bawah normal. Berdasarkan NOAA *National Weather Service* indikator ENSO diklasifikasikan dalam empat anomali *Sea Surface Temperature* (SST), yaitu Anomali SST Nino 1+2, Anomali SST Nino 3, Anomali SST Nino 4 dan Anomali SST Nino 3.4 yang masing-masing didapatkan dari Nino 1+2, Nino 3, Nino 4, dan Nino 3.4. Pembagian Nino berdasarkan letaknya (sesuai garis masing-masing Nino) disajikan pada Gambar 2. 2.



**Gambar 2. 2** Pembagian Nino dan Letaknya  
(Sumber: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)

ENSO terbentang melewati Pasifik dari pantai Amerika Selatan (Nino 1+2) sampai Pasifik Timur (Nino 4) (Sarachik & Cane, 2010). Penghitungan anomali SST adalah pengamatan suhu muka laut dikurangi rata-rata suhu muka laut dari pengamatan selama 30 tahun.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan NOAA *National Weather Service* yang dapat diakses melalui <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>. Data yang didapatkan dari BMKG adalah data curah hujan di lima kabupaten sentra produksi padi di Jawa Timur tahun 1982-2013. Lokasi penelitian adalah Kabupaten Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi, seperti pada Gambar 3.1. Data dari NOAA *National Weather Service* adalah data indikator ENSO, anomali SST Nino 1+2, SST Nino 3, SST Nino 4 dan SST Nino 3.4 tahun 1982-2013. Data yang digunakan merupakan data bulanan.



**Gambar 3. 1** Lokasi Penelitian di Lima Kabupaten, yaitu: Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi



### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini secara lengkap disajikan pada Tabel 3.1, yaitu sebagai berikut.

1. Data curah hujan dari BMKG periode tahun 1982 sampai dengan tahun 2013 di lima kabupaten sentra produksi padi Jawa Timur.
2. Data ENSO (*El Nino-Southern Oscillation*) anomali *Sea Surface Temperature* (SST) Nino 1+2, SST Nino 3, SST Nino 4 dan SST Nino 3.4.

**Tabel 3. 1** Variabel Penelitian

| No. | Nama Variabel |                             |
|-----|---------------|-----------------------------|
| 1   | CH.Bny        | = Curah Hujan di Banyuwangi |
| 2   | CH.Jmb        | = Curah Hujan di Jember     |
| 3   | CH.Bjo        | = Curah Hujan di Bojonegoro |
| 4   | CH.Lam        | = Curah Hujan di Lamongan   |
| 5   | CH.Ngw        | = Curah Hujan di Ngawi      |
| 6   | ANOM 1+2      | = SST Nino 1+2              |
| 7   | ANOM 3        | = SST Nino 3                |
| 8   | ANOM 4        | = SST Nino 4                |
| 9   | ANOM 3.4      | = SST Nino 3.4              |

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data lag 0, lag 1, dan lag 2 pada data curah hujan dan indikator ENSO. Data lag 0 berarti data curah hujan dan data indikator ENSO yang digunakan terjadi pada bulan yang sama. Data lag 1 artinya data curah hujan yang digunakan dimulai satu bulan berikutnya setelah terjadinya fenomena ENSO, dengan kata lain data curah hujan dan indikator ENSO memiliki selisih satu bulan, dengan ENSO terlebih dulu terjadi. Sementara data lag 2 berarti data curah hujan dan data ENSO mempunyai selisih dua bulan, dimana data curah hujan dimulai setelah dua bulan dari terjadinya ENSO. Struktur data ditunjukkan pada Tabel 3. 2, tanda panah untuk data (a) lag 0, (b) lag 1, dan (c) lag 2.

**Tabel 3. 2** Struktur Curah Hujan dan Indikator ENSO

| Tahun | CH         | ENSO |
|-------|------------|------|
|       | Bulan ke-  |      |
| 1982  | 1<br>(a) ← | 1    |
|       | 2 (b) ←    | 2    |
|       | 3 (c) ←    | 3    |
|       | ⋮          | ⋮    |
|       | 11         | 11   |
|       | 12         | 12   |

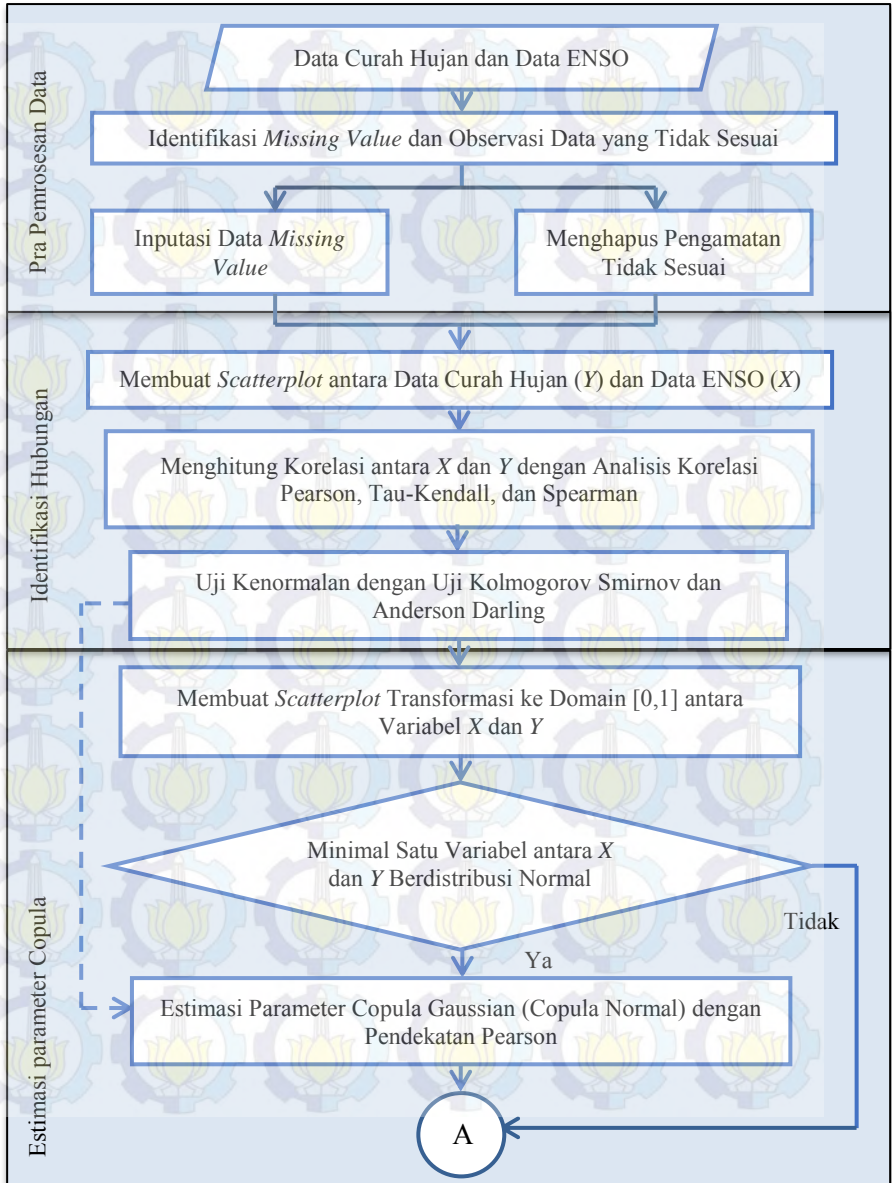
### 3.3 Metode Analisis Data

Metode analisis dalam penelitian ini menggunakan tahapan sebagai berikut.

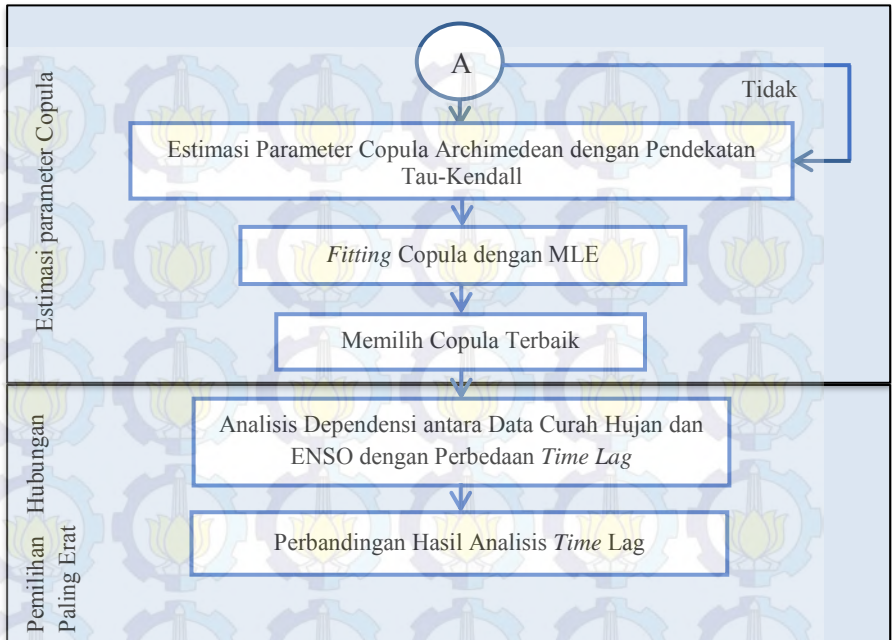
1. Melakukan pra-pemrosesan data curah hujan.
  - i). Melakukan identifikasi *missing value* dan observasi data yang tidak sesuai dari data curah hujan.
  - ii). Melakukan inputasi data pada *missing value* dengan mengganti data *missing* menggunakan rata-rata curah hujan pada tanggal dan bulan yang sama dengan tanggal dan bulan data yang *missing* tersebut.
  - iii). Menghapus pengamatan yang tidak sesuai, misalkan pengamatan yang dicatat pada tanggal-tanggal yang tidak mungkin terjadi, seperti tanggal 31 Bulan Februari, April, Juni, September, November, tanggal 30 Februari, dan tanggal 29 Februari pada tahun-tahun non-kabisat.
2. Melakukan identifikasi hubungan curah hujan dan indikator ENSO
  - i). Membuat *scatterplot* dan histogram antara variabel *Y* (curah hujan) dan variabel *X* (ENSO).

- ii). Mendapatkan nilai korelasi antara variabel  $X$  dan variabel  $Y$  menggunakan korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall.
- iii). Menguji asumsi distribusi normal dengan uji Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling.
- 3. Melakukan identifikasi pola hubungan curah hujan dan indikator ENSO dengan pendekatan Copula.
  - i). Melakukan transformasi data ke domain  $[0,1]$  sebelum dilakukan analisis dependensi dengan Copula.
  - ii). Membuat *scatterplot* hasil transformasi antara variabel  $X$  dan variabel  $Y$ .
  - iii). Mendapatkan estimasi parameter Copula dengan pendekatan Tau-Kendall.
  - iv). *Fitting* Copula dan memilih Copula terbaik untuk hubungan variabel  $X$  dan variabel  $Y$  dengan *Maximum Likelihood Ratio*.
- 4. Pemilihan hubungan paling erat berdasarkan perbedaan *time lag*, yaitu: lag 0, lag 1, dan lag 2
  - i). Metode analisis dari tahap (2) dan (3) dilakukan pada data lag 1 dan lag 2 indikator ENSO dan curah hujan di masing-masing kabupaten, dengan struktur data ditunjukkan pada Tabel 3.2.
  - ii). Perbandingan berdasarkan estimasi parameter Copula dan nilai *log likelihood* dari hasil analisis *time lag*.

Tahapan analisis data ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.







**Gambar 3. 2** Diagram Alir Analisis Data

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas mengenai identifikasi hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO (*El-Nino Southern Oscillation*) di sentra produksi padi Jawa Timur, yaitu: Kabupaten Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi. Hubungan tersebut ditunjukkan dengan pendekatan analisis hubungan melalui *scatterplot*, analisis korelasi, dan pendekatan Copula.

### 4.1 Pra-Pemrosesan Data Curah Hujan

Langkah awal dalam analisis data yang berkaitan dengan iklim seperti data curah hujan adalah melakukan penyiapan data. Dalam pencatatan data curah hujan kadang terjadi perpindahan alat pengukur curah hujan, alat pengukur yang rusak, tidak tersedia tenaga pencatat, sehingga terdapat data *missing*, termasuk di stasiun pengamatan curah hujan dalam penelitian ini. Oleh karena itu diperlukan pra-pemrosesan data sebelum dilakukan analisis, yaitu meliputi identifikasi *missing value* dan inputasi data.

*Missing value* atau data *missing* merupakan gangguan yang biasa ditemukan pada data yang dianalisis. Hasil identifikasi *missing value* dari data curah hujan di lima pos pengamatan di Jawa Timur disajikan pada Tabel 4. 1.

**Tabel 4. 1** Identifikasi *Missing Value* Data Curah Hujan

| Keterangan        | Banyuwangi<br>(Pasewaran) | Jember<br>(Karang<br>Kedawung) | Bojonegoro<br>(Cawak) | Lamongan<br>(Karang<br>Binangun) | Ngawi<br>(Ngale) |
|-------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|
| N tidak<br>sesuai | 203                       | 203                            | 203                   | 203                              | 203              |
| % <i>missing</i>  | 0,76                      | 0                              | 0,26                  | 0,49                             | 4,69             |

Tabel 4. 1 menunjukkan bahwa banyak ditemukan data *missing* di pos pengamatan lima kabupaten Jawa Timur. Pos Ngale di Kabupaten Ngawi memiliki data *missing* yang paling

banyak yaitu 4,69%. Pengamatan di Karang Kedawung tidak ditemukan data *missing* sama sekali, namun masih terdapat beberapa pengamatan yang tidak sesuai yaitu 203 pengamatan. Jumlah data *missing* yang sama juga ditemukan pada pos pengamatan lain. Pengamatan tidak sesuai yang dimaksud adalah pengamatan yang dicatat pada tanggal-tanggal yang tidak mungkin terjadi, seperti tanggal 31 pada Bulan Februari, April, Juni, September, November, tanggal 30 Februari, dan tanggal 29 Februari pada tahun-tahun non-kabisat.

Hal yang dilakukan untuk menangani pengamatan yang tidak sesuai adalah dengan menghapus pengamatan. Sedangkan untuk mengatasi *missing value* dilakukan proses inputasi data dengan mengganti data *missing* menggunakan rata-rata curah hujan pada tanggal dan bulan yang sama dengan tanggal dan bulan yang *missing* tersebut.

## **4.2 Identifikasi Hubungan Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur**

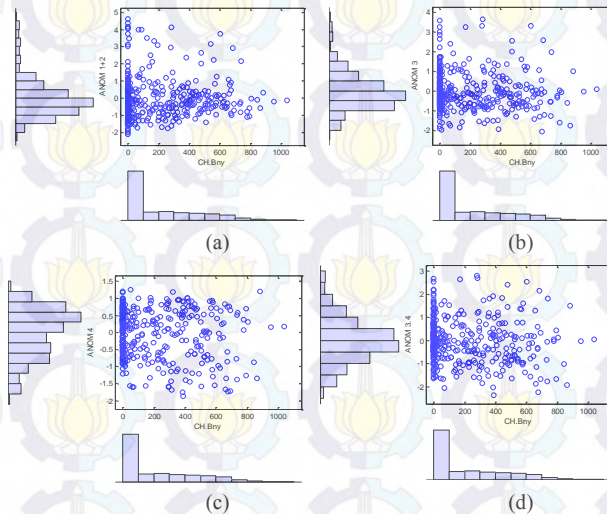
Identifikasi pola hubungan curah hujan dan indikator ENSO di sentra produksi padi Jawa Timur dilakukan menggunakan analisis *scatterplot* dan analisis korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall. Data yang dianalisis pada tahapan ini adalah data lag 0 curah hujan dan indikator ENSO, dimana data kedua variabel yang digunakan adalah pada bulan yang sama.

### **4.2.1 Identifikasi Menggunakan *Scatterplot***

Curah hujan di Jawa Timur menunjukkan adanya variasi yang tinggi setiap bulannya. Hal ini sering dinamakan iklim ekstim, yaitu sering terjadi iklim yang sangat rendah dan sangat tinggi. Pola hubungan antara masing-masing variabel curah hujan dan indikator ENSO (SST Nino 1+2, SST Nino 3, SST Nino 4 dan SST Nino 3,4) di Jawa Timur digambarkan dalam bentuk *scatterplot*.



Pola hubungan antara curah hujan di Banyuwangi dan indikator ENSO disajikan pada Gambar 4.1, menunjukkan bahwa pola yang dibentuk tidak jelas, terdapat titik-titik yang berdekatan dan ada yang berjauhan. Beberapa titik menunjukkan adanya amatan *outlier* yang jauh dari amatan lain. Identifikasi pola hubungan antara curah hujan di Banyuwangi dan indikator ENSO tidak cukup jika hanya ditunjukkan menggunakan *scatterplot* dikarenakan titik-titik tidak membentuk pola spesifik sehingga sulit untuk menjelaskan hubungan keduanya. Untuk analisis *scatterplot* di lokasi lain disajikan selengkapnya di Lampiran 9 karena tahapannya sama.



**Gambar 4.1** *Scatterplot* dan *Histogram* antara Lag 0 Curah Hujan di Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 (d) Nino 3.4 Tahun 1982-2013

Berdasarkan histogram pada Gambar 4.1, curah hujan di Banyuwangi dan indikator ENSO tidak membentuk pola yang simetris, pola distribusi memiliki kemiringan (*skewness*), khususnya pada data curah hujan. Pola distribusi curah hujan *skewness* kanan, menunjukkan bahwa banyak data (modus) curah



hujan yang bernilai kecil. Berdasarkan pola distribusi curah hujan, dapat diketahui bahwa di Banyuwangi tahun 1982-2013 sering terjadi hujan dengan intensitas rendah, dengan kata lain sering terjadi musim kering atau jarang terjadi hujan.

Sementara pola distribusi anomali SST Nino 1+2, SST Nino 3, dan SST Nino 3.4 memiliki *skewness* kiri, yang menunjukkan data anomali banyak (modus) bernilai besar, sedangkan anomali SST Nino 4 memiliki pola distribusi *skewness* kanan, yang menunjukkan data banyak (modus) bernilai kecil. Pola hubungan anomali *skewness* kanan menunjukkan bahwa pada tahun 1982-2013 sering terjadi anomali tinggi, dengan kata lain sering terjadi El Nino, sedangkan pada anomali SST Nino 4 lebih sering terjadi La Nina karena data banyak anomali bernilai kecil.

#### 4.2.2 Analisis Korelasi dengan Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall

Analisis hubungan curah hujan dan indikator ENSO di sentra produksi padi Jawa Timur menggunakan korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall disajikan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Koefisien Korelasi dan *P-value* antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO

| Variabel         |          | Pearson            |                | Spearman           |                | Tau-Kendall        |                |
|------------------|----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|                  |          | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> |
| CH<br>Banyuwangi | ANOM 1+2 | -0,018             | 0,718          | -0,016             | 0,756          | -0,009             | 0,792          |
|                  | ANOM 3   | -0,091             | 0,076          | -0,147             | 0,004          | -0,104             | 0,004          |
|                  | ANOM 4   | -0,130             | <b>0,011</b>   | -0,118             | <b>0,021</b>   | -0,087             | <b>0,015</b>   |
|                  | ANOM 3.4 | -0,116             | <b>0,023</b>   | -0,161             | <b>0,002</b>   | -0,115             | <b>0,001</b>   |

**Tabel 4.2** Koefisien Korelasi dan *P-value* antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel      |          | Pearson            |                | Spearman           |                | Tau-Kendall        |                |
|---------------|----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|               |          | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> |
| CH Jember     | ANOM 1+2 | -0,051             | 0,319          | -0,030             | 0,559          | -0,016             | 0,652          |
|               | ANOM 3   | -0,123             | <b>0,016</b>   | -0,181             | <b>0,000</b>   | -0,124             | <b>0,000</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,134             | <b>0,009</b>   | -0,122             | <b>0,017</b>   | -0,085             | <b>0,015</b>   |
|               | ANOM 3,4 | -0,138             | <b>0,007</b>   | -0,185             | <b>0,000</b>   | -0,128             | <b>0,000</b>   |
| CH Bojonegoro | ANOM 1+2 | -0,046             | 0,371          | -0,065             | 0,204          | -0,044             | 0,210          |
|               | ANOM 3   | -0,050             | 0,326          | -0,142             | <b>0,005</b>   | -0,098             | <b>0,005</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,071             | 0,163          | -0,078             | 0,125          | -0,058             | 0,095          |
|               | ANOM 3,4 | -0,059             | 0,253          | -0,143             | <b>0,005</b>   | -0,101             | <b>0,004</b>   |
| CH Lamongan   | ANOM 1+2 | -0,090             | 0,079          | -0,077             | 0,131          | -0,051             | 0,142          |
|               | ANOM 3   | -0,141             | <b>0,006</b>   | -0,193             | <b>0,000</b>   | -0,131             | <b>0,000</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,138             | <b>0,007</b>   | -0,133             | <b>0,009</b>   | -0,095             | <b>0,006</b>   |
|               | ANOM 3,4 | -0,144             | <b>0,005</b>   | -0,190             | <b>0,000</b>   | -0,134             | <b>0,000</b>   |
| CH Ngawi      | ANOM 1+2 | -0,035             | 0,497          | -0,026             | 0,607          | -0,018             | 0,600          |
|               | ANOM 3   | -0,066             | 0,196          | -0,130             | <b>0,011</b>   | -0,089             | <b>0,010</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,105             | <b>0,040</b>   | -0,085             | 0,096          | -0,057             | 0,102          |
|               | ANOM 3,4 | -0,086             | 0,091          | -0,141             | <b>0,006</b>   | -0,095             | <b>0,006</b>   |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Berdasarkan pengujian korelasi yang dilakukan, dapat diketahui bahwa hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO semuanya mempunyai hubungan yang negatif. Hal ini menunjukkan kejadian ENSO di Lautan Pasifik berhubungan terbalik dengan curah hujan yang terjadi di lima kabupaten Jawa Timur, apabila di Lautan Pasifik terjadi El Nino maka di Jawa Timur terjadi penurunan curah hujan yang dapat mengakibatkan kekeringan di Jawa Timur, sedangkan apabila terjadi La Nina maka di Jawa Timur terjadi peningkatan curah hujan yang dapat mengakibatkan banjir.

Namun pola hubungan yang ditunjukkan tidak dapat dijelaskan dengan baik menggunakan korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall. Karena pengujian dengan Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall memberikan hasil yang berbeda. Hasil pengujian korelasi memberikan kesimpulan bahwa sebagian besar curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur tidak memiliki hubungan erat dengan indikator ENSO berdasarkan *p-value* yang sebagian besar menunjukkan tidak signifikan terhadap  $\alpha=0,05$ .

Pembahasan sebelumnya dengan *scatterplot* menunjukkan adanya titik-titik yang berdekatan. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO. Maka dari itu diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui pola hubungan keduanya secara khusus.

#### **4.2.3 Uji Normalitas Data Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur**

Pengujian distribusi normal pada data dapat dilakukan menggunakan histogram maupun secara statistik. Gambar 4.1 menunjukkan histogram pada data curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dan indikator ENSO tidak membentuk pola yang simetris, pola distribusi memiliki kemiringan (*skewness*), khususnya pada data curah hujan. Untuk memperjelas hasil pengujian dilakukan dengan uji Kolmogorov Smirnov dan uji Anderson Darling.



**Tabel 4.3** Uji Normalitas Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling

| No. | Variabel      | Nilai KS(D) | p-value | p-value AD |
|-----|---------------|-------------|---------|------------|
| 1   | CH Banyuwangi | 0,201       | <0,010  | <0,005     |
| 2   | CH Jember     | 0,150       | <0,010  | <0,005     |
| 3   | CH Bojonegoro | 0,153       | <0,010  | <0,005     |
| 4   | CH Lamongan   | 0,139       | <0,010  | <0,005     |
| 5   | CH Ngawi      | 0,120       | <0,010  | <0,005     |
| 6   | ANOM 1+2      | 0,111       | <0,010  | <0,005     |
| 7   | ANOM 3        | 0,100       | <0,010  | <0,005     |
| 8   | ANOM 4        | 0,094       | <0,010  | <0,005     |
| 9   | ANOM 3.4      | 0,058       | <0,010  | 0,009      |

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa data curah hujan dan indikator ENSO masing-masing memiliki *p-value* yang kurang dari  $\alpha = 0,05$  dan nilai  $D > D_{0,05}$  (0,069), kecuali untuk Anomali SST Nino 3.4, sehingga dapat diputuskan tolak  $H_0$ . Artinya data curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur dan indikator ENSO semuanya tidak berdistribusi normal. Untuk Anomali SST Nino 3.4 diperoleh  $D < D_{0,05}$  sedangkan  $p\text{-value} < \alpha$ , oleh karena itu tidak dapat disimpulkan untuk uji normalitas dengan uji Kolmogorov Smirnov, sedangkan dengan uji Anderson Darling memberikan hasil  $p\text{-value} < \alpha$  dan diputuskan tolak  $H_0$  yang berarti Anomali SST Nino 3.4 tidak mengikuti distribusi normal.

Hasil pengujian yang dilakukan memberikan kesimpulan sebagian besar dari semua variabel tidak mengikuti distribusi normal. Oleh karena itu diperlukan metode lain untuk mengidentifikasi hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur, yaitu dengan pendekatan Copula.

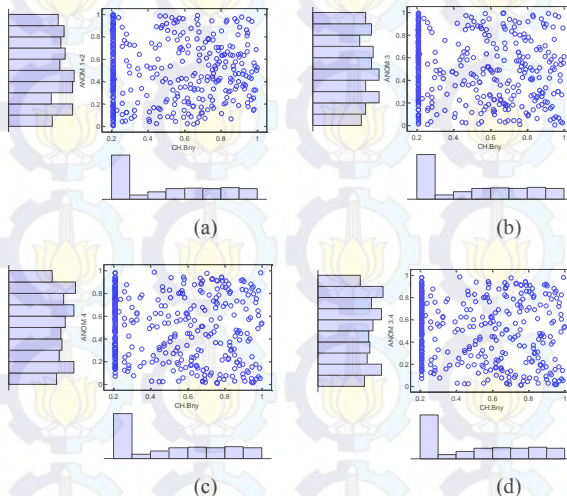


### 4.3 Identifikasi Pola Hubungan Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Pendekatan Copula

Identifikasi pola hubungan dengan pendekatan Copula dilakukan karena dengan analisis sebelumnya yang harus memenuhi asumsi distribusi normal, tidak dapat menjelaskan pola hubungan antar variabel. Tahapan pembahasan secara detail disajikan Kabupaten Banyuwangi sebagai ilustrasi, sedangkan untuk lokasi lain disajikan selengkapnya di Lampiran 11-14 karena tahapannya sama.

#### 4.3.1 Transformasi Variabel Random ke Uniform[0,1]

Tahap awal untuk melakukan analisis dengan Copula adalah melakukan transformasi variabel ke domain Uniform[0,1]. Transformasi dinyatakan dengan *scatterplot* yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** *Scatterplot* Transformasi [0,1] antara Lag 0 Curah Hujan di Kabupaten Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 dan (d) Nino 3.4

Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa terdapat titik-titik saling berdekatan yang mengindikasikan adanya hubungan antara kedua variabel, selain itu berdasarkan histogram terlihat bahwa data telah ditransformasi ke domain Uniform[0,1]. Hasil transformasi kemudian digunakan dalam analisis dependensi dengan Copula. Hasil yang sama terjadi pada transformasi data di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi yang disajikan selengkapnya di Lampiran 11.

#### 4.3.2 Estimasi Parameter Copula

Analisis dilakukan dengan pendekatan Copula Archimedean, yaitu Copula Frank, Clayton, dan Gumbel karena variabel yang dianalisis tidak mengikuti distribusi normal. Namun untuk Anomali SST Nino 3.4 juga menggunakan pendekatan Copula Normal, karena pada pengujian distribusi normal belum dapat disimpulkan normal tidaknya berdasarkan uji Kolmogorv Smirnov dan Anderson Darling.

Estimasi parameter  $\theta$  untuk Copula Frank, Clayton, Gumbel, dan Normal berdasarkan perhitungan dengan rumus pada Tabel 2. 2 pada bab 2 ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4** Parameter  $\theta$  Masing-Masing Copula antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO

| Variabel                   | Frank  | Clayton | Gumbel | Normal |
|----------------------------|--------|---------|--------|--------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 1+2 | -0,009 | -0,019  | 0,991  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | -0,104 | -0,188  | 0,906  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | -0,087 | -0,160  | 0,920  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | -0,115 | -0,206  | 0,897  | -0,116 |
| CH Jember dan ANOM 1+2     | -0,016 | -0,031  | 0,985  | -      |
| CH Jember dan ANOM 3       | -0,124 | -0,220  | 0,890  | -      |
| CH Jember dan ANOM 4       | -0,085 | -0,156  | 0,922  | -      |
| CH Jember dan ANOM 3.4     | -0,128 | -0,227  | 0,887  | -0,138 |

**Tabel 4.4** Parameter  $\theta$  Masing-Masing Copula antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel                   | Frank  | Clayton | Gumbel | Normal |
|----------------------------|--------|---------|--------|--------|
| CH Bojonegoro dan ANOM 1+2 | -0,044 | -0,084  | 0,958  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | -0,098 | -0,178  | 0,911  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 4   | -0,058 | -0,110  | 0,945  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | -0,101 | -0,184  | 0,908  | -0,059 |
| CH Lamongan dan ANOM 1+2   | -0,051 | -0,097  | 0,952  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | -0,131 | -0,231  | 0,884  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 4     | -0,095 | -0,174  | 0,913  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4   | -0,134 | -0,236  | 0,882  | -0,144 |
| CH Ngawi dan ANOM 1+2      | -0,018 | -0,036  | 0,982  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 3        | -0,089 | -0,163  | 0,919  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 4        | -0,057 | -0,107  | 0,946  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4      | -0,095 | -0,174  | 0,913  | -0,086 |

Keterangan : (-) = tidak menggunakan Copula Normal

Parameter  $\theta$  pada Tabel 4.4 digunakan untuk mendapatkan estimasi parameter Copula dengan pendekatan Tau-Kendall yang disajikan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi

| Variabel                   | Copula  | Parameter | p-value      |
|----------------------------|---------|-----------|--------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 1+2 | Frank   | -0,085    | 0,723        |
|                            | Clayton | -0,019    | 0,721        |
|                            | Gumbel  | -         | -            |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -0,941    | <b>0,001</b> |
|                            | Clayton | -0,188    | <b>0,000</b> |
|                            | Gumbel  | -         | -            |



**Tabel 4.5** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi (lanjutan)

| Variabel                   | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | Frank   | -0,786    | <b>0,010</b>   |
|                            | Clayton | -0,160    | <b>0,005</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -1,047    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,206    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,180    | <b>0,000</b>   |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Tabel 4.5 menunjukkan struktur dependensi antara curah hujan dan indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi. Untuk Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi disajikan di Lampiran 12. Parameter yang signifikan untuk curah hujan dan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4 di Bayuwangi adalah Copula Frank dan Clayton karena mempunyai  $p\text{-value} < \alpha$ . Parameter Copula Frank, Clayton, dan Normal pada curah hujan dan SST Nino 3.4 di Banyuwangi signifikan, maka struktur dependensi masing-masing variabel mengikuti Copula terpilih, sedangkan untuk curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di Banyuwangi tidak mengikuti Copula apapun, karena  $p\text{-value} > \alpha$ . Copula Gumbel di Kabupaten Banyuwangi tidak dapat diestimasi karena nilai perhitungan parameter pada Tabel 4.4 untuk Copula Gumbel kurang dari 1. Seharusnya nilai  $\theta$  pada Copula Gumbel adalah  $\theta \in [1, \infty)$ . Nilai  $\theta < 1$  pada Copula Gumbel disebabkan korelasi Tau-Kendall antara curah hujan dan indikator ENSO di Banyuwangi bernilai negatif (-). Begitupula dengan struktur dependensi curah hujan dan indikator ENSO di kabupaten lain, jenis Copula dipilih berdasarkan signifikansi parameter yang ditunjukkan oleh  $p\text{-value}$ .



Hubungan antara Anomali SST Nino 3, SST Nino 4 dan curah hujan di Kabupaten Jember masing-masing mengikuti Copula Frank dan Clayton. Anomali SST Nino 3.4 dan curah hujan di Jember struktur dependensinya mengikuti Copula Frank, Clayton, dan Normal.

Struktur dependensi antara curah hujan dan indikator ENSO di Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi, mengikuti masing-masing Copula terpilih dengan taraf signifikansi 5% atau 10%. Curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Bojonegoro mengikuti Copula Frank dan Clayton, untuk curah hujan dan Anomali SST Nino 3.4 di Bojonegoro mengikuti Copula Frank, Clayton dan Normal, sedangkan untuk Anomali SST Nino 4 mengikuti Copula Frank dan Clayton. Curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di Lamongan mengikuti Copula Frank dan Clayton, sedangkan dengan Anomali SST Nino 3 dan SST Nino 4 mengikuti Copula Clayton. Hubungan curah hujan dan Anomali SST Nino 3.4 di Kabupaten Lamongan juga mengikuti Copula Frank, Clayton dan Normal. Hubungan yang sama terjadi pada curah hujan di Kabupaten Ngawi yaitu dengan Anomali SST Nino 3 mengikuti Copula Frank dan Clayton. Hubungan dengan Anomali SST Nino 4 mengikuti Copula Frank dan Clayton. Sementara curah hujan dan Anomali SST Nino 3.4 di Kabupaten Ngawi mengikuti Copula Frank, Clayton, dan Normal.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, Copula Gumbel pada curah hujan dan indikator ENSO di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan dan Ngawi tidak dapat diestimasi karena nilai  $\theta$  pada Copula ini kurang dari 1.

Struktur dependensi antara curah hujan dan indikator ENSO masing-masing memiliki hubungan dengan mengikuti lebih dari satu jenis Copula. Maka dilakukan *fitting* Copula untuk mendapatkan model terbaik dari struktur dependensi antar variabel. *Fitting* Copula disajikan pada Tabel 4. 6.

**Tabel 4. 6** Hasil *Fitting* Copula dengan MLE

| Variabel                   | Copula  | Estimasi | Log-likelihood |
|----------------------------|---------|----------|----------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -0,915   | <b>4,183</b>   |
|                            | Clayton | -0,167   | 4,159          |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | Frank   | -0,747   | 2,739          |
|                            | Clayton | -0,299   | <b>14,769</b>  |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -1,019   | 5,103          |
|                            | Clayton | -0,247   | <b>10,547</b>  |
|                            | Normal  | -0,181   | 4,942          |
| CH Jember dan ANOM 3       | Frank   | -1,125   | 6,462          |
|                            | Clayton | -0,176   | <b>6,758</b>   |
| CH Jember dan ANOM 4       | Frank   | -0,750   | 2,900          |
|                            | Clayton | -0,288   | <b>14,609</b>  |
| CH Jember dan ANOM 3.4     | Frank   | -1,158   | 6,793          |
|                            | Clayton | -0,245   | <b>12,938</b>  |
|                            | Normal  | -0,189   | 6,155          |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | Frank   | -0,902   | <b>4,062</b>   |
|                            | Clayton | -0,139   | 3,673          |
| CH Bojonegoro dan ANOM 4   | Frank   | -0,479   | 1,190          |
|                            | Clayton | -0,234   | <b>8,356</b>   |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,897   | 4,053          |
|                            | Clayton | -0,195   | <b>7,543</b>   |
|                            | Normal  | -0,121   | 2,432          |
| CH Lamongan dan ANOM 1+2   | Frank   | -0,458   | 1,122          |
|                            | Clayton | -0,046   | 0,304          |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | Frank   | -1,180   | <b>7,200</b>   |
|                            | Clayton | -0,175   | 7,022          |

**Tabel 4.6** Hasil *Fitting* Copula dengan MLE (lanjutan)

| Variabel                 | Copula  | Estimasi | Log-likelihood |
|--------------------------|---------|----------|----------------|
| CH Lamongan dan ANOM 4   | Frank   | -0,824   | 3,468          |
|                          | Clayton | -0,215   | <b>10,916</b>  |
| CH Lamongan dan ANOM 3,4 | Frank   | -1,175   | 7,077          |
|                          | Clayton | -0,204   | <b>10,279</b>  |
|                          | Normal  | -0,194   | 6,396          |
| CH Ngawi dan ANOM 3      | Frank   | -0,784   | <b>3,239</b>   |
|                          | Clayton | -0,124   | 3,101          |
| CH Ngawi dan ANOM 4      | Frank   | -0,513   | 1,385          |
|                          | Clayton | -0,202   | 6,528          |
| CH Ngawi dan ANOM 3,4    | Frank   | -0,852   | 3,805          |
|                          | Clayton | -0,179   | <b>6,599</b>   |
|                          | Normal  | -0,119   | 2,378          |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$  dan *log-likelihood* terbesar

Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$  dan *log-likelihood* terbesar

*Fitting* Copula dengan MLE (*Maximum Likelihood Estimation*) dilakukan pada masing-masing Copula yang signifikan. Pola hubungan terbaik untuk masing-masing pasangan variabel dipilih berdasarkan hasil *fitting* dengan nilai *log-likelihood* terbesar serta *p-value* yang signifikan.

Berdasarkan Tabel 4.6 diperoleh model dependensi antara curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Kabupaten Banyuwangi mengikuti Copula Frank karena memiliki nilai *log-likelihood* terbesar dibandingkan Copula lain. Begitupula model dependensi antara curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Bojonegoro, curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Lamongan, serta curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Kabupaten Ngawi masing-masing mengikuti Copula Frank, dimana Copula ini tidak memiliki *tail* dependensi, dengan kata lain kejadian ekstrim terjadi ketika curah

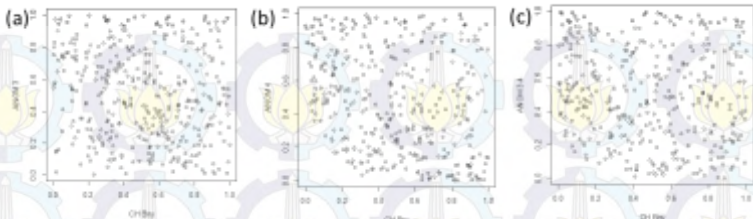


hujan dan indikator ENSO nilainya tinggi dan rendah. Saat curah hujan dan indikator ENSO bernilai tinggi dan rendah, hubungan keduanya semakin erat. Artinya curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dan Anomali SST Nino 3 memiliki hubungan erat jika kedua variabel memiliki nilai tinggi dan rendah. Begitu juga hubungan antara curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Kabupaten Bojonegoro, curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Lamongan, serta curah hujan dan Anomali SST Nino 3 di Kabupaten Ngawi.

Model dependensi antara curah hujan dengan Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4 di Kabupaten Banyuwangi mengikuti Copula Clayton. Copula Clayton memiliki *tail* dependensi di bawah. Kejadian ekstrim terjadi ketika curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dengan Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4 nilainya kecil. Semakin rendah curah hujan, Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4, maka hubungannya semakin erat. Artinya, jika curah hujan di Kabupaten Banyuwangi turun, maka Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4 akan mengalami penurunan juga. Begitu juga model dependensi antara curah hujan di Kabupaten Jember dengan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4, curah hujan di Kabupaten Bojonegoro dengan Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4, curah hujan di Kabupaten Lamongan dengan Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4, serta curah hujan di Kabupaten Ngawi dengan Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4 semuanya mengikuti Copula Clayton.

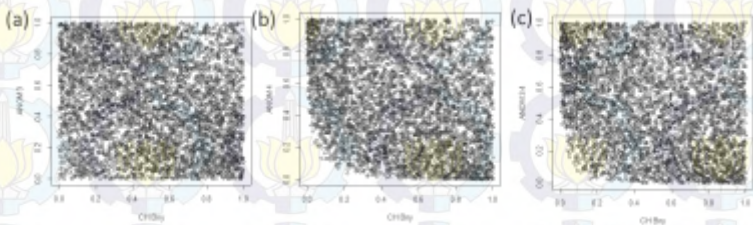
Model dependensi Copula yang terpilih pada pasangan variabel curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, SST Nino 3.4 dapat ditunjukkan melalui *scatterplot* rank Copula yang disajikan pada Gambar 4. 3.





**Gambar 4. 3** Scatterplot Rank Copula antara Lag 0 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4

Bentuk rank Copula pada Gambar 4. 3 menggambarkan Copula terpilih untuk curah hujan dan indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi. Sedangkan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi memiliki bentuk rank Copula yang disajikan di Lampiran 13. Bentuk rank Copula yang terpilih kurang terlihat jelas polanya, karena jumlah data kecil, yaitu 384. Oleh karena itu dibangkitkan data sebanyak 5000 dengan parameter  $\theta$  yang sama dengan parameter yang terpilih sebelumnya. Sehingga model dependensi dengan pendekatan Copula dapat terlihat jelas seperti pada Gambar 4. 4, untuk rank Copula bangkitan data sebanyak 5000 di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi disajikan di Lampiran 14.



**Gambar 4. 4** Scatterplot Rank Copula Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 0 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4

#### 4.4 Hubungan antara Lag 0 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur

Identifikasi hubungan antara lag 0 curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur menggunakan pendekatan Copula didapatkan parameter Copula terpilih yang ditunjukkan pada Tabel 4. 7 berikut.

**Tabel 4. 7** Parameter Copula Terpilih di Masing-Masing Kabupaten pada Lag 0

| Kabupaten  | ENSO     |                     |                     |                     |
|------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
|            | ANOM 1+2 | ANOM 3              | ANOM 4              | ANOM 3.4            |
| Banyuwangi | -        | -0,915 <sup>A</sup> | -0,299 <sup>B</sup> | -0,247 <sup>B</sup> |
| Jember     | -        | -0,176 <sup>B</sup> | -0,288 <sup>B</sup> | -0,245 <sup>B</sup> |
| Bojonegoro | -        | -0,902 <sup>A</sup> | -0,234 <sup>B</sup> | -0,195 <sup>B</sup> |
| Lamongan   | -        | -1,180 <sup>A</sup> | -0,215 <sup>B</sup> | -0,204 <sup>B</sup> |
| Ngawi      | -        | -0,784 <sup>A</sup> | -0,202 <sup>B</sup> | -0,179 <sup>B</sup> |

Keterangan: A = Mengikuti Copula Frank (Tidak Memiliki *Tail* Dependensi)

B = Mengikuti Copula Clayton (*Tail* Dependensi di Bawah)

- = Tidak Mengikuti Copula

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa curah hujan di Kabupaten Banyuwangi, Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi masing-masing memiliki hubungan erat dengan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4. Sedangkan hubungan lima kabupaten di Jawa Timur dengan Anomali SST Nino 1+2 tidak memiliki hubungan erat. Hubungan antara curah hujan dengan masing-masing indikator ENSO memberikan hasil yang berbeda, hal ini salah satunya dikarenakan letak Nino pada ENSO yang berbeda.

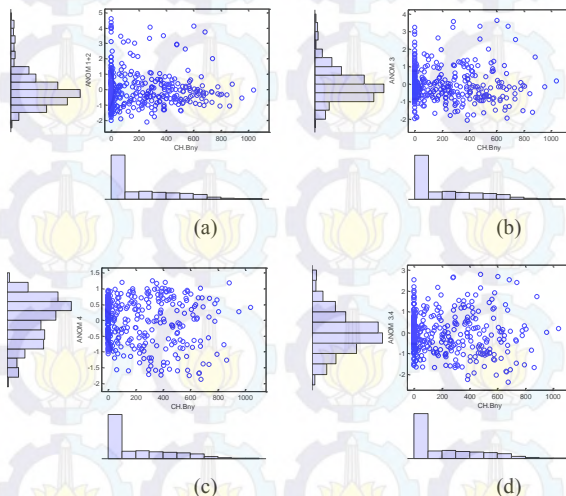
#### 4.5 Identifikasi Hubungan Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur

Identifikasi pola hubungan lag 0 curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur telah dilakukan sebelumnya. Selain indikator ENSO, kemungkinan terdapat faktor lain yang memberikan pengaruh terhadap terjadinya curah

hujan di Jawa Timur, misalnya adanya pengaruh angin, jarak, dan faktor lainnya. Maka dilakukan juga identifikasi hubungan lag 1 curah hujan dan indikator ENSO di Jawa Timur. Hal ini bertujuan untuk mengetahui adanya hubungan dependensi antara kejadian ENSO dan curah hujan di Jawa Timur selisih satu bulan. Seperti analisis sebelumnya, identifikasi pola hubungan antara kedua variabel ini awalnya menggunakan analisis *scatterplot* dan analisis korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall.

#### 4.5.1 Identifikasi Menggunakan *Scatterplot*

Pola hubungan antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi disajikan pada Gambar 4. 5, menunjukkan bahwa pola yang dibentuk tidak jelas, terdapat titik-titik yang berdekatan dan ada yang berjauhan. Beberapa titik menunjukkan adanya amatan *outlier* yang jauh dari amatan lain. Analisis *scatterplot* di kabupaten lain selengkapnya disajikan di Lampiran 15.



**Gambar 4. 5** *Scatterplot* dan Histogram antara Lag 1 Curah Hujan di Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 (d) Nino 3.4 Tahun 1982-2013



Bentuk histogram pada Gambar 4.5, curah hujan di Banyuwangi dan indikator ENSO pada lag 1 tidak membentuk pola yang simetris, pola distribusi memiliki kemiringan (*skewness*), khususnya pada data curah hujan. Pola distribusi curah hujan memiliki *skewness* kanan, menunjukkan bahwa banyak data (modus) curah hujan yang bernilai kecil. Berdasarkan pola distribusi curah hujan, dapat diketahui bahwa di Bayuwangi tahun 1982-2013 sering terjadi hujan dengan intensitas kecil, dengan kata lain sering terjadi musim kering atau jarang terjadi hujan.

Sementara pola distribusi pada lag 1 anomali SST Nino 1+2, SST Nino 3, dan SST Nino 3.4 memiliki *skewness* kiri, yang menunjukkan data anomali banyak (modus) bernilai besar, sedangkan anomali SST Nino 4 memiliki pola distribusi *skewness* kanan, yang menunjukkan data banyak (modus) bernilai kecil. Pola hubungan anomali *skewness* kanan menunjukkan bahwa pada tahun 1982-2013 sering terjadi anomali tinggi, yang artinya sering terjadi El Nino, sedangkan pada anomali SST Nino 4 lebih sering terjadi La Nina karena data banyak bernilai kecil.

#### **4.5.2 Analisis Korelasi dengan Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall**

Analisis hubungan lag 1 curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur dilakukan sama seperti pada data lag 0 curah hujan dan indikator ENSO. Analisis hubungan kedua variabel dilakukan menggunakan korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall yang disajikan pada Tabel 4.8.



**Tabel 4.8** Koefisien Korelasi. *P-value* antara Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO

| Variabel      |          | Pearson            |                | Spearman           |                | Tau-Kendall        |                |
|---------------|----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|               |          | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> |
| CH Banyuwangi | ANOM 1+2 | -0,030             | 0,565          | -0,009             | 0,859          | -0,008             | 0,815          |
|               | ANOM 3   | -0,067             | 0,193          | -0,147             | <b>0,004</b>   | -0,105             | <b>0,003</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,106             | <b>0,039</b>   | -0,071             | 0,163          | -0,054             | 0,132          |
|               | ANOM 3,4 | -0,085             | 0,097          | -0,144             | <b>0,005</b>   | -0,103             | <b>0,004</b>   |
| CH Jember     | ANOM 1+2 | -0,048             | 0,349          | -0,019             | 0,707          | -0,012             | 0,737          |
|               | ANOM 3   | -0,108             | <b>0,035</b>   | -0,187             | <b>0,000</b>   | -0,129             | <b>0,000</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,118             | <b>0,021</b>   | -0,099             | 0,053          | -0,070             | <b>0,043</b>   |
|               | ANOM 3,4 | -0,118             | <b>0,020</b>   | -0,182             | <b>0,000</b>   | -0,127             | <b>0,000</b>   |
| CH Bojonegoro | ANOM 1+2 | -0,025             | 0,624          | -0,028             | 0,581          | -0,020             | 0,561          |
|               | ANOM 3   | -0,035             | 0,499          | -0,147             | <b>0,004</b>   | -0,104             | <b>0,003</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,042             | 0,415          | -0,033             | 0,521          | -0,029             | 0,406          |
|               | ANOM 3,4 | -0,041             | 0,425          | -0,130             | <b>0,011</b>   | -0,094             | <b>0,007</b>   |
| CH Lamongan   | ANOM 1+2 | -0,077             | 0,133          | -0,036             | 0,484          | -0,023             | 0,511          |
|               | ANOM 3   | -0,117             | <b>0,022</b>   | -0,187             | <b>0,000</b>   | -0,133             | <b>0,000</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,111             | <b>0,029</b>   | -0,094             | 0,067          | -0,069             | <b>0,046</b>   |
|               | ANOM 3,4 | -0,116             | <b>0,023</b>   | -0,178             | <b>0,000</b>   | -0,128             | <b>0,000</b>   |

**Tabel 4.8** Koefisien Korelasi. *P-value* antara Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel | Pearson            |                | Spearman           |                | Tau-Kendall        |                |
|----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|          | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> |
| ANOM 1+2 | -0,019             | 0,704          | 0,001              | 0,981          | 0,003              | 0,926          |
| ANOM 3   | -0,063             | 0,220          | -0,148             | <b>0,004</b>   | -0,103             | <b>0,003</b>   |
| ANOM 4   | -0,087             | 0,090          | -0,057             | 0,266          | -0,036             | 0,303          |
| ANOM 3.4 | -0,079             | 0,122          | -0,143             | <b>0,005</b>   | -0,098             | <b>0,005</b>   |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Pengujian korelasi antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur menunjukkan bahwa hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO semuanya mempunyai hubungan yang negatif. Hal ini menunjukkan kejadian ENSO di Lautan Pasifik berhubungan terbalik dengan curah hujan yang terjadi di lima kabupaten Jawa Timur, dengan kata lain apabila di Lautan Pasifik terjadi El Nino maka di Jawa Timur terjadi penurunan curah hujan yang dapat mengakibatkan kekeringan di Jawa Timur, sedangkan apabila terjadi La Nina maka di Jawa Timur terjadi peningkatan curah hujan yang dapat mengakibatkan banjir.

Seperti analisis korelasi pada data lag 0, hasil pengujian korelasi memberikan kesimpulan bahwa lag 1 curah hujan tidak memiliki hubungan yang erat dengan indikator ENSO. Hasil pengujian menunjukkan terdapat hubungan antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO, namun koefisien korelasinya sangat kecil, sehingga hubungan antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO sangat kecil bahkan dapat dikatakan tidak ada hubungan antara keduanya. Pola hubungan yang ditunjukkan tidak dapat dijelaskan dengan baik menggunakan korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall, karena memberikan hasil yang berbeda. Hasil pengujian korelasi memberikan kesimpulan bahwa

sebagian besar curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur tidak memiliki hubungan yang erat dengan indikator ENSO berdasarkan *p-value* yang sebagian besar menunjukkan tidak signifikan terhadap  $\alpha=0,05$ .

Sementara berdasarkan pembahasan sebelumnya dengan *scatterplot* menunjukkan adanya titik-titik yang berdekatan. Hal ini mengindikasikan adanya hubungan antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO. Oleh karena itu diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui pola hubungan keduanya secara khusus.

#### 4.5.3 Uji Normalitas Data Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur

Pengujian distribusi normal pada data dapat dilakukan menggunakan histogram maupun secara pengujian statistik. Gambar 4. 5 menunjukkan histogram pada data lag 1 curah hujan dan indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi tidak membentuk pola yang simetris, pola distribusi memiliki kemiringan (*skewness*). Untuk memperjelas dilakukan pengujian dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling.

**Tabel 4.9** Uji Normalitas Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling

| No. | Variabel      | Nilai KS(D) | p-value | p-value AD |
|-----|---------------|-------------|---------|------------|
| 1   | CH Banyuwangi | 0,202       | <0,010  | <0,005     |
| 2   | CH Jember     | 0,151       | <0,010  | <0,005     |
| 3   | CH Bojonegoro | 0,154       | <0,010  | <0,005     |
| 4   | CH Lamongan   | 0,140       | <0,010  | <0,005     |
| 5   | CH Ngawi      | 0,121       | <0,010  | <0,005     |
| 6   | ANOM 1+2      | 0,111       | <0,010  | <0,005     |
| 7   | ANOM 3        | 0,099       | <0,010  | <0,005     |
| 8   | ANOM 4        | 0,096       | <0,010  | <0,005     |
| 9   | ANOM 3.4      | 0,058       | <0,010  | 0,010      |



Pengujian normal pada Tabel 4.9 juga menunjukkan bahwa data lag 1 curah hujan dan indikator ENSO masing-masing memiliki  $p$ -value yang kurang dari  $\alpha = 0,05$  dan nilai  $D > D_{0,05}$  (0,069), kecuali untuk Anomali SST Nino 3.4, sehingga dapat diputuskan tolak  $H_0$ . Artinya data curah hujan dan indikator ENSO di Jawa Timur semuanya tidak berdistribusi normal. Untuk Anomali SST Nino 3.4  $D < D_{0,05}$  sedangkan  $p$ -value  $< \alpha$ , oleh karena itu tidak dapat disimpulkan untuk uji normalitas dengan uji Kolmogorov Smirnov, sedangkan dengan uji Anderson Darling memberikan hasil  $p$ -value  $< \alpha$  dan diputuskan tolak  $H_0$  yang berarti Anomali SST Nino 3.4 tidak mengikuti distribusi normal. Hasil pengujian memberikan kesimpulan sebagian besar dari semua variabel tidak mengikuti distribusi normal.

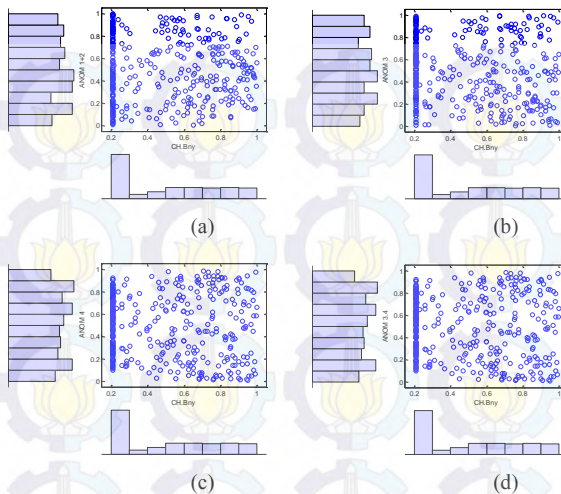
#### **4.6 Identifikasi Pola Hubungan Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Pendekatan Copula**

Identifikasi pola hubungan dengan pendekatan Copula dilakukan karena dengan analisis sebelumnya yang harus memenuhi asumsi distribusi normal, tidak dapat menjelaskan pola hubungan antar kedua variabel. Tahapan pembahasan pada lag 1 curah hujan dan indikator ENSO secara detail disajikan Kabupaten Banyuwangi sebagai ilustrasi, sedangkan untuk lokasi lain disajikan selengkapnya di Lampiran 17-20 karena tahapannya sama.

##### **4.6.1 Transformasi Variabel Random ke Uniform[0,1]**

Transformasi variabel random ke Uniform[0,1] dinyatakan dengan *scatterplot* yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.





**Gambar 4.6** Scatterplot Transformasi  $[0,1]$  antara Lag 1 Curah Hujan di Kabupaten Banyuwangi dan Anomali SST: (a) Nino 1+2 (b) Nino 3 (c) Nino 4 dan (d) Nino 3.4

Gambar 4.6 menunjukkan terdapat titik-titik saling berdekatan yang mengindikasikan adanya hubungan antara kedua variabel, selain itu berdasarkan histogram terlihat bahwa data telah ditransformasi ke domain Uniform $[0,1]$ . Hasil yang sama terjadi pada transformasi data lag 1 curah hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi yang disajikan selengkapnya di Lampiran 17.

#### 4.6.2 Estimasi Parameter Copula

Analisis dilakukan dengan pendekatan Copula Archimedean, yaitu Copula Frank, Clayton, dan Gumbel karena variabel yang dianalisis tidak mengikuti distribusi normal. sedangkan untuk Anomali SST Nino 3.4 juga menggunakan pendekatan Copula Normal, karena pada pengujian distribusi normal belum dapat disimpulkan normal tidaknya berdasarkan uji Kolmogorov Smirnov dan uji Anderson Darling.

Estimasi parameter  $\theta$  untuk Copula Frank, Clayton, Gumbel, dan Normal berdasarkan perhitungan dengan rumus pada Tabel 2. 2 pada bab 2 disajikan pada Tabel 4.10 berikut.

**Tabel 4.10** Parameter  $\theta$  Masing-Masing Copula antara Data Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO

| Variabel                   | Frank  | Clayton | Gumbel | Normal |
|----------------------------|--------|---------|--------|--------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 1+2 | -0,008 | -0,017  | 0,992  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | -0,105 | -0,190  | 0,905  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | -0,054 | -0,103  | 0,949  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | -0,103 | -0,187  | 0,907  | -0,085 |
| CH Jember dan ANOM 1+2     | -0,012 | -0,023  | 0,988  | -      |
| CH Jember dan ANOM 3       | -0,129 | -0,229  | 0,886  | -      |
| CH Jember dan ANOM 4       | -0,070 | -0,131  | 0,934  | -      |
| CH Jember dan ANOM 3.4     | -0,127 | -0,225  | 0,888  | -0,118 |
| CH Bojonegoro dan ANOM 1+2 | -0,020 | -0,040  | 0,980  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | -0,104 | -0,189  | 0,905  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 4   | -0,029 | -0,056  | 0,972  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | -0,094 | -0,171  | 0,914  | -0,041 |
| CH Lamongan dan ANOM 1+2   | -0,023 | -0,045  | 0,978  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | -0,133 | -0,234  | 0,883  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 4     | -0,069 | -0,130  | 0,935  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4   | -0,128 | -0,227  | 0,886  | -0,116 |
| CH Ngawi dan ANOM 1+2      | 0,003  | 0,006   | 1,003  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 3        | -0,103 | -0,186  | 0,907  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 4        | -0,036 | -0,069  | 0,966  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4      | -0,098 | -0,179  | 0,910  | -0,079 |

Keterangan : (-) = tidak menggunakan Copula Normal

Parameter  $\theta$  pada Tabel 4.10 digunakan untuk mendapatkan estimasi parameter Copula dengan pendekatan Tau-Kendall yang disajikan pada Tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Data Lag 1 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi

| Variabel                   | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 1+2 | Frank   | -0,076    | 0,768          |
|                            | Clayton | -0,017    | 0,766          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -0,953    | <b>0,001</b>   |
|                            | Clayton | -0,190    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | Frank   | -0,488    | 0,120          |
|                            | Clayton | -0,103    | <i>0,099</i>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,935    | <b>0,003</b>   |
|                            | Clayton | -0,187    | <b>0,001</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,161    | <b>0,002</b>   |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$   
 Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

Tabel 4.11 menunjukkan struktur dependensi antara lag 1 curah hujan dan Indikator ENSO di Kabupaten Bayuwangi. Sementara untuk Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi disajikan secara jelas di Lampiran 18. Hubungan antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO mengikuti Copula dengan taraf signifikansi 5% atau 10%. Hubungan curah hujan di Banyuwangi dan Anomali SST Nino 3 mengikuti Copula Frank dan Copula Clayton, untuk Anomali SST Nino 3.4 mengikuti Copula Frank, Clayton, dan Normal, sedangkan hubungan dengan Anomali SST Nino 4 mengikuti Copula Clayton. Hubungan curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di Banyuwangi tidak mengikuti Copula apapun, karena  $p\text{-value} > \alpha$ . Begitupula dengan struktur dependensi variabel lainnya, jenis Copula dipilih



berdasarkan signifikansi parameter yang ditunjukkan oleh *p-value* yang dibandingkan dengan taraf signifikansi 5% atau 10%. Copula Gumbel pada lag 1 curah hujan di Kabupaten Banyuwangi tidak dapat diestimasi karena nilai perhitungan parameter pada Tabel 4.10 untuk Copula Gumbel kurang dari 1. Seharusnya nilai  $\theta$  pada Copula Gumbel adalah  $\theta \in [1, \infty)$ . Nilai  $\theta < 1$  pada Copula Gumbel disebabkan korelasi Tau-Kendall antara curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dan indikator ENSO bernilai negatif (-).

Hubungan antara Anomali SST Nino 3, SST Nino 4 dan curah hujan di Kabupaten Jember masing-masing mengikuti Copula Frank dan Clayton. Anomali SST Nino 3.4 dan curah hujan di Jember struktur dependensinya mengikuti Copula Frank, Clayton, dan Normal.

Hubungan lag 1 curah hujan di Kabupaten Bojonegoro dan Anomali SST Nino 3, curah hujan di Lamongan dan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, serta curah hujan di Ngawi dan Anomali SST Nino 3, semuanya mengikuti Copula Frank dan Clayton, mengikuti Copula Frank dan Clayton. Sementara itu Copula Frank, Clayton, dan Normal signifikan pada hubungan curah hujan di Bojonegoro dan Anomali SST Nino 3.4, curah hujan di Lamongan dan Anomali SST Nino 3.4, serta curah hujan di Ngawi dan Anomali SST Nino 3.4. Hubungan curah hujan di Jember, Bojonegoro, Lamongan dengan Anomali SST Nino 1+2 tidak mengikuti Copula apapun, sedangkan di Ngawi mengikuti Copula Gumbel.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, Copula Gumbel pada curah hujan dan indikator ENSO di Kabupaten Jember, Bojonegoro, dan Lamongan tidak dapat diestimasi karena nilai  $\theta$  pada Copula Gumbel kurang dari 1.

Struktur dependensi antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO masing-masing memiliki hubungan yang mengikuti lebih dari satu jenis Copula, sehingga dilakukan *fitting* Copula untuk mendapatkan model terbaik dari struktur dependensi antara variabel. *Fitting* Copula dengan MLE (*Maximum Likelihood*



*Estimation*) dilakukan pada masing-masing Copula yang signifikan. Model terbaik dipilih berdasarkan hasil *fitting* dengan nilai *log-likelihood* terbesar serta *p-value* yang signifikan, yang disajikan pada Tabel 4.12 berikut.

**Tabel 4.12** Hasil *Fitting* Copula dengan MLE

| Variabel                   | Copula  | Estimasi | Log-likelihood |
|----------------------------|---------|----------|----------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -0,935   | 4,262          |
|                            | Clayton | -0,170   | <b>5,042</b>   |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | Clayton | -0,323   | 17,556         |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,913   | 4,071          |
|                            | Clayton | -0,276   | <b>14,381</b>  |
|                            | Normal  | -0,154   | 3,542          |
| CH Jember dan ANOM 3       | Frank   | -1,175   | <b>6,928</b>   |
|                            | Clayton | -        | -              |
| CH Jember dan ANOM 4       | Frank   | -0,604   | 1,893          |
|                            | Clayton | -0,294   | <b>15,760</b>  |
| CH Jember dan ANOM 3.4     | Frank   | -1,137   | 6,527          |
|                            | Clayton | -0,279   | <b>17,545</b>  |
|                            | Normal  | -0,181   | 5,590          |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | Frank   | -0,929   | <b>4,298</b>   |
|                            | Clayton | -0,138   | 4,287          |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,809   | 3,315          |
|                            | Clayton | -0,221   | <b>10,254</b>  |
|                            | Normal  | -0,110   | 2,004          |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | Frank   | -1,166   | <b>6,878</b>   |
|                            | Clayton | -        | -              |

**Tabel 4.12** Hasil *Fitting* Copula dengan MLE (lanjutan)

| Variabel                 | Copula  | Estimasi | Log-likelihood |
|--------------------------|---------|----------|----------------|
| CH Lamongan dan ANOM 4   | Frank   | -0,572   | 1,696          |
|                          | Clayton | -0,244   | <b>12,008</b>  |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4 | Frank   | -1,101   | 6,172          |
|                          | Clayton | -0,231   | <b>13,702</b>  |
|                          | Normal  | -0,176   | 5,227          |
| CH Ngawi dan ANOM 1+2    | Gumbel  | -        | -              |
| CH Ngawi dan ANOM 3      | Frank   | -0,907   | <b>4,248</b>   |
|                          | Clayton | -0,114   | 3,080          |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4    | Frank   | -0,867   | 3,924          |
|                          | Clayton | -0,185   | <b>7,467</b>   |
|                          | Normal  | -0,118   | 2,333          |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$  dan *log-likelihood* terbesar

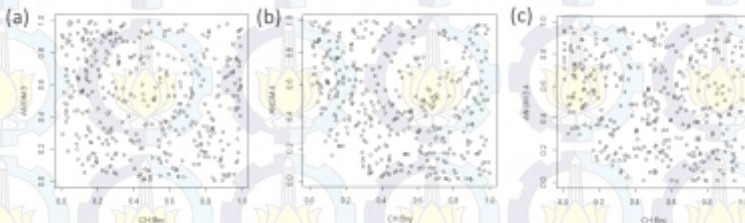
Nilai yang *italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$  dan *log-likelihood* terbesar

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa model dependensi antara lag 1 curah hujan di Kabupaten Jember dan Anomali SST Nino 3 mengikuti Copula Frank karena memiliki nilai *log-likelihood* terbesar dibandingkan Copula lain. Begitupula model dependensi antara lag 1 curah hujan di Kabupaten Bojonegoro dan Anomali SST Nino 3, lag 1 curah hujan di Lamongan dan Anomali SST Nino 3, serta lag 1 curah hujan di Kabupaten Ngawi dan Anomali SST Nino 3 masing-masing mengikuti Copula Frank, dimana Copula ini tidak memiliki *tail* dependensi, dengan kata lain kejadian ekstrim terjadi ketika curah hujan dan indikator ENSO nilainya tinggi dan rendah. Saat curah hujan dan indikator ENSO bernilai tinggi dan rendah, hubungan keduanya semakin erat. Artinya curah hujan di Kabupaten Jember dan Anomali SST Nino 3 memiliki hubungan erat jika kedua variabel memiliki nilai

tinggi dan rendah. Begitu juga hubungan antara lag 1 curah hujan di Kabupaten Bojonegoro dan Anomali SST Nino 3, lag 1 curah hujan di Lamongan dan Anomali SST Nino 3, serta lag 1 curah hujan di Kabupaten Ngawi dan Anomali SST Nino 3.

Model dependensi lag 1 curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dengan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4 dan SST Nino 3.4 mengikuti Copula Clayton. Copula Clayton memiliki *tail* dependensi di bawah. Kejadian ekstrim terjadi ketika lag 1 curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dengan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4 nilainya kecil. Semakin rendah lag 1 curah hujan, dan semakin rendah Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4 maka hubungan semakin erat. Jika lag 1 curah hujan di Kabupaten Banyuwangi turun, maka Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4 akan mengalami penurunan juga. Begitu juga model dependensi antara lag 1 curah hujan di Kabupaten Jember dengan Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4, lag 1 curah hujan di Kabupaten Bojonegoro dan SST Nino 3.4, lag 1 curah hujan di Kabupaten Lamongan dengan Anomali SST Nino 4 dan SST Nino 3.4, serta lag 1 curah hujan di Kabupaten Ngawi dan Anomali SST Nino 3.4 semuanya mengikuti Copula Clayton.

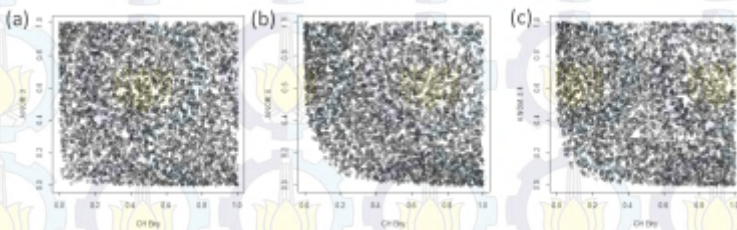
Model dependensi Copula terpilih pada pasangan variabel lag 1 curah hujan di Kabupaten Banyuwangi dengan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, SST Nino 3.4 dapat ditunjukkan melalui *scatterplot* rank Copula yang disajikan pada Gambar 4. 7.



**Gambar 4. 7** *Scatterplot* Rank Copula antara Lag 1 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4



Gambar 4.7 menunjukkan bahwa bentuk Copula terpilih untuk lag 1 curah hujan dan indikator ENSO di Kabupaten Banyuwangi. Sedangkan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi memiliki bentuk rank Copula yang disajikan di Lampiran 19. Bentuk rank Copula yang terpilih kurang terlihat jelas polanya, karena jumlah data kecil, yaitu 383. Oleh karena itu dibangkitkan data sebanyak 5000 dengan parameter  $\theta$  yang sama dengan parameter yang terpilih sebelumnya. Sehingga model dependensi dengan pendekatan Copula dapat terlihat jelas seperti pada Gambar 4. 8. Untuk model dependensi bangkitkan data sebanyak 5000 di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi ditunjukkan pada Lampiran 20.



**Gambar 4. 8** Scatterplot Rank Copula Bangkitkan Data (n=5000) antara Lag 1 Curah Hujan di Banyuwangi dan: (a) Anomali SST Nino 3, (b) Anomali SST Nino 4, (c) Anomali SST Nino 3.4

#### 4.7 Hubungan antara Lag 1 Curah Hujan di Lima Kabupaten Jawa Timur dengan Indikator ENSO

Identifikasi hubungan antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur menggunakan pendekatan Copula didapatkan parameter Copula terpilih yang ditunjukkan pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Parameter Copula Terpilih di Masing-Masing Kabupaten pada Lag 1

| Curah Hujan | ENSO     |                     |                     |                     |
|-------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
|             | ANOM 1+2 | ANOM 3              | ANOM 4              | ANOM 3.4            |
| Banyuwangi  | -        | -0,170 <sup>B</sup> | -0,323 <sup>B</sup> | -0,276 <sup>B</sup> |
| Jember      | -        | -1,175 <sup>A</sup> | -0,294 <sup>B</sup> | -0,279 <sup>B</sup> |
| Bojonegoro  | -        | -0,929 <sup>A</sup> | -                   | -0,221 <sup>B</sup> |
| Lamongan    | -        | -1,166 <sup>A</sup> | -0,244 <sup>B</sup> | -0,231 <sup>B</sup> |
| Ngawi       | -        | -0,907 <sup>A</sup> | -                   | -0,185 <sup>B</sup> |

Keterangan: A = Mengikuti Copula Frank (Tidak Memiliki *Tail* Dependensi)

B = Mengikuti Copula Clayton (*Tail* Dependensi di Bawah)

- = Tidak Mengikuti Copula

Berdasarkan Tabel 4.13 dapat disimpulkan bahwa lag 1 curah hujan di Kabupaten Banyuwangi, Jember, dan Lamongan masing-masing memiliki hubungan erat dengan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4, sedangkan hubungan lag 1 curah hujan di Kabupaten Bojonegoro dan Ngawi memiliki hubungan erat dengan Anomali SST Nino 3 dan SST Nino 4. Namun hubungan lag 1 curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di lima kabupaten Jawa Timur tidak memiliki hubungan erat. Hubungan antara curah hujan dan masing-masing indikator ENSO memberikan hasil yang berbeda, hal ini salah satunya dikarenakan letak Nino pada ENSO yang berbeda.

#### 4.8 Identifikasi Hubungan Lag 2 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur

Identifikasi pola hubungan lag 0 curah hujan dan lag 1 curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur dengan indikator ENSO telah dilakukan sebelumnya. Identifikasi juga dilakukan pada data lag 2 curah hujan dan indikator ENSO. Hal ini bertujuan mengetahui adanya hubungan dependensi antara data indikator ENSO dan data curah hujan selisih dua bulan. Seperti analisis sebelumnya, identifikasi pola hubungan antara kedua variabel diawali menggunakan analisis *scatterplot* dan analisis korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall. Tahapan analisis

pada lag 2 menggunakan pendekatan Copula sama dengan tahapan analisis pada lag 0 dan lag 1, secara lengkap disajikan pada Lampiran 21-30. Sehingga didapatkan parameter Copula terpilih yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 berikut.

**Tabel 4.14** Parameter Copula Terpilih di Masing-Masing Kabupaten pada Lag 2

| Kabupaten  | ENSO     |                     |                     |                     |
|------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
|            | ANOM 1+2 | ANOM 3              | ANOM 4              | ANOM 3.4            |
| Banyuwangi | -        | -0,189 <sup>B</sup> | -                   | -0,265 <sup>B</sup> |
| Jember     | -        | -0,194 <sup>B</sup> | -0,249 <sup>B</sup> | -0,285 <sup>B</sup> |
| Bojonegoro | -        | -0,149 <sup>B</sup> | -                   | -0,211 <sup>B</sup> |
| Lamongan   | -        | -1,012 <sup>A</sup> | -                   | -0,214 <sup>B</sup> |
| Ngawi      | -        | -0,796 <sup>A</sup> | -                   | -0,191 <sup>B</sup> |

Keterangan: A = Mengikuti Copula Frank (Tidak Memiliki *Tail* Dependensi)

B = Mengikuti Copula Clayton (*Tail* Dependensi di Bawah)

- = Tidak Mengikuti Copula

Berdasarkan Tabel 4.14 dapat disimpulkan bahwa lag 2 curah hujan di Kabupaten Jember memiliki hubungan erat dengan Anomali SST Nino 3, SST Nino 4, dan SST Nino 3.4, sedangkan hubungan lag 2 curah hujan di Kabupaten Banyuwangi, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi memiliki hubungan erat dengan Anomali SST Nino 3 dan SST Nino 4. Hubungan lag 2 curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur dan Anomali SST Nino 1+2 tidak memiliki hubungan erat. Hubungan antara curah hujan dan masing-masing indikator ENSO memberikan hasil yang berbeda, hal ini salah satunya dikarenakan letak Nino pada ENSO yang berbeda.

#### 4.9 Perbandingan Identifikasi Pola Hubungan Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur pada Lag 0, Lag 1, dan Lag 2

Analisis hubungan curah hujan dan indikator ENSO telah dilakukan pada data curah hujan dan indikator ENSO lag 0, lag 1, dan lag 2. Hal ini bertujuan mengetahui apakah terdapat



perbedaan pola hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO dengan perbedaan waktu pada kedua variabel tersebut. Selain itu untuk mengetahui kemungkinan terdapat faktor lain yang memberikan pengaruh terhadap terjadinya curah hujan di Jawa Timur, misalnya terdapat pengaruh angin, jarak, dan faktor lain yang dapat mempengaruhi hubungan ENSO dan curah hujan di Jawa Timur. Hasil identifikasi pola hubungan pada lag 0, lag 1, dan lag 2 ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Identifikasi pola hubungan curah hujan dengan perbedaan *time lag* pada Tabel 4.15 menunjukkan adanya perbedaan parameter Copula dan nilai *log-likelihood* pada masing-masing kabupaten. Hal ini menunjukkan hubungan kedua variabel mengikuti Copula yang berbeda. Sedangkan hubungan curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 tidak mengikuti Copula apapun, yang berarti Anomali SST Nino 1+2 tidak memiliki hubungan dengan curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur. Namun untuk hubungan curah hujan dan Anomali SST Nino 3.4 berdasarkan perbedaan *time lag*, menunjukkan hasil yang sama yaitu hubungan keduanya mengikuti Copula Clayton.

Perbandingan ketiga analisis tersebut juga untuk mengetahui pada *time lag* berapa curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur berhubungan erat dengan indikator ENSO. Pemilihan hubungan keeratan curah hujan dan indikator ENSO dapat dilihat berdasarkan estimasi parameter Copula dan nilai *log-likelihood* yang ditunjukkan pada Tabel 4.15. Semakin besar nilai estimasi parameter yang dihasilkan, semakin erat hubungan keduanya. Serta semakin besar nilai *log-likelihood*, maka semakin besar keragaman yang dapat dijelaskan pada hubungan keduanya dengan kata lain hubungan keduanya semakin jelas. Selain itu, dapat dilihat berdasarkan hasil visualisasi bentuk *scatterplot* rank Copula terpilih yang disajikan pada Lampiran 14, Lampiran 20, dan Lampiran 30. Semakin jelas bentuk *scatterplot* rank Copula, semakin erat hubungan keduanya.

**Tabel 4. 15** Perbandingan Parameter Copula pada Lag 0, Lag 1, dan Lag 2

| Kabupaten  | ANOM 1+2 | ANOM 3              |                | ANOM 4              |                | ANOM 3.4            |                |
|------------|----------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
|            |          | Estimasi            | Log-likelihood | Estimasi            | Log-likelihood | Estimasi            | Log-likelihood |
| Lag 0      |          |                     |                |                     |                |                     |                |
| Banyuwangi | -        | -0,915 <sup>A</sup> | 4,183          | -0,299 <sup>B</sup> | 14,769         | -0,247 <sup>B</sup> | 10,547         |
| Jember     | -        | -0,176 <sup>B</sup> | 6,758          | -0,288 <sup>B</sup> | 14,609         | -0,245 <sup>B</sup> | 12,938         |
| Bojonegoro | -        | -0,902 <sup>A</sup> | 4,062          | -0,234 <sup>B</sup> | 8,356          | -0,195 <sup>B</sup> | 7,543          |
| Lamongan   | -        | -1,180 <sup>A</sup> | 7,200          | -0,215 <sup>B</sup> | 10,916         | -0,204 <sup>B</sup> | 10,279         |
| Ngawi      | -        | -0,784 <sup>A</sup> | 3,239          | -0,202 <sup>B</sup> | 6,528          | -0,179 <sup>B</sup> | 6,599          |
| Lag 1      |          |                     |                |                     |                |                     |                |
| Banyuwangi | -        | -0,170 <sup>B</sup> | 5,042          | -0,323 <sup>B</sup> | 17,556         | -0,276 <sup>B</sup> | 14,381         |
| Jember     | -        | -1,175 <sup>A</sup> | 6,928          | -0,294 <sup>B</sup> | 15,760         | -0,279 <sup>B</sup> | 17,545         |
| Bojonegoro | -        | -0,929 <sup>A</sup> | 4,298          | -                   | -              | -0,221 <sup>B</sup> | 10,254         |
| Lamongan   | -        | -1,166 <sup>A</sup> | 6,878          | -0,244 <sup>B</sup> | 12,008         | -0,231 <sup>B</sup> | 13,702         |
| Ngawi      | -        | -0,907 <sup>A</sup> | 4,248          | -                   | -              | -0,185 <sup>B</sup> | 7,467          |
| Lag 2      |          |                     |                |                     |                |                     |                |
| Banyuwangi | -        | -0,189 <sup>B</sup> | 6,297          | -                   | -              | -0,265 <sup>B</sup> | 13,425         |
| Jember     | -        | -0,194 <sup>B</sup> | 8,694          | -0,249 <sup>B</sup> | 10,387         | -0,285 <sup>B</sup> | 17,354         |
| Bojonegoro | -        | -0,149 <sup>B</sup> | 4,705          | -                   | -              | -0,211 <sup>B</sup> | 8,693          |
| Lamongan   | -        | -1,012 <sup>A</sup> | 5,157          | -                   | -              | -0,214 <sup>B</sup> | 11,436         |
| Ngawi      | -        | -0,796 <sup>A</sup> | 3,284          | -                   | -              | -0,191 <sup>B</sup> | 7,274          |

Keterangan: A = Mengikuti Copula Frank (Tidak Memiliki *Tail Dependensi*)

B = Mengikuti Copula Clayton (*Tail Dependensi* di Bawah)

- = Tidak Mengikuti Copula

Hasil estimasi parameter dengan perbedaan *time lag* yaitu pada lag 0, lag 1, dan lag 2 antara curah hujan dan indikator ENSO menghasilkan nilai parameter negatif. Hal ini menunjukkan hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO adalah terbalik, yaitu apabila terjadi El Nino di Lautan Pasifik maka curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur akan mengalami

penurunan bahkan dapat mengakibatkan terjadinya kekeringan, dan sebaliknya apabila terjadi La Nina maka curah hujan akan meningkat dan dapat mengakibatkan terjadinya banjir.

Tabel 4.15 menunjukkan hubungan paling erat berdasarkan *time lag* adalah terjadi saat lag 1. Hal ini berarti bahwa kejadian ENSO di Lautan Pasifik akan mempengaruhi curah hujan satu bulan berikutnya, khususnya di lima kabupaten Jawa Timur. Selain itu *scatterplot* rank Copula antara lag 1 curah hujan dan indikator ENSO lebih jelas bentuknya daripada *scatterplot* rank Copula yang lain. Disamping itu, dapat disimpulkan bahwa Anomali SST Nino 3.4 adalah anomali yang paling tepat digunakan dalam mengidentifikasi hubungan curah hujan dan indikator ENSO, yaitu pada lag 1 karena memiliki nilai *log-likelihood* terbesar.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisis hubungan curah hujan dan indikator ENSO *Sea Surface Temperature* di Jawa Timur pada lag 0, lag 1, dan lag 2 menggunakan *scatterplot*, korelasi Pearson, Spearman, dan Tau-Kendall menunjukkan pola hubungan yang tidak jelas, selain itu tidak dapat menunjukkan keeratan hubungan curah hujan dan indikator ENSO. Pengujian normal menunjukkan bahwa data tidak berdistribusi normal.
2. Pola hubungan curah hujan dan indikator ENSO di Jawa Timur pada lag 0, lag 1, dan lag 2 sebagian besar mengikuti Copula Clayton dan Frank. Analisis dari ketiganya memberikan kesimpulan mengikuti Copula yang berbeda, sedangkan hubungan curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di lima kabupaten Jawa Timur tidak mengikuti Copula apapun, artinya antara curah hujan dan Anomali SST Nino 1+2 di lima kabupaten Jawa Timur tidak mempunyai hubungan yang erat.
3. Hubungan paling erat antara curah hujan dan indikator ENSO di lima kabupaten Jawa Timur terjadi saat lag 1, dengan kata lain kejadian ENSO akan mempengaruhi curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur setelah satu bulan berikutnya. Hal ini terjadi karena kemungkinan adanya faktor lain yang mempengaruhi hubungan curah hujan di lima kabupaten Jawa Timur dan indikator ENSO. Selain itu, Anomali SST Nino 3.4 paling tepat digunakan dalam mengidentifikasi hubungan curah hujan dan indikator ENSO.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh indikator ENSO terhadap curah hujan di Jawa Timur kemungkinan dipengaruhi faktor lain. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya disarankan agar melakukan penelitian dengan memperhatikan faktor lain yang kemungkinan dapat mempengaruhi hubungan antara curah hujan dan indikator ENSO.
2. Hubungan curah hujan dan indikator ENSO masih dilakukan di lima kabupaten Jawa Timur, sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan di lokasi penelitian yang berbeda. Karena analisis yang dilakukan di lokasi yang berbeda kemungkinan akan memberikan hasil yang berbeda.
3. Indikator ENSO yang paling tepat digunakan dalam mengidentifikasi hubungan dengan curah hujan adalah Anomali SST Nino 3.4, setelah itu Anomali SST Nino 3, dan Nino 4. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan Anomali SST Nino 3.4 dalam mengidentifikasi hubungan yang melibatkan indikator ENSO, dan disarankan untuk tidak menggunakan Anomali SST Nino 1+2.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1: Data Curah Hujan di Jawa Timur Tahun 1982-2013**

| Tahun | Bulan | Curah Hujan (mm) |        |            |          |       |
|-------|-------|------------------|--------|------------|----------|-------|
|       |       | Banyuwangi       | Jember | Bojonegoro | Lamongan | Ngawi |
| 1982  | 1     | 531              | 455    | 233        | 294      | 238   |
| 1982  | 2     | 288              | 168    | 435        | 411      | 419   |
| 1982  | 3     | 244              | 439    | 420        | 241      | 186   |
| 1982  | 4     | 379              | 52     | 350        | 43       | 406   |
| 1982  | 5     | 0                | 15     | 0          | 0        | 1     |
| 1982  | 6     | 0                | 0      | 0          | 24       | 72    |
| 1982  | 7     | 15               | 0      | 0          | 0        | 0     |
| 1982  | 8     | 0                | 0      | 0          | 0        | 0     |
| 1982  | 9     | 0                | 0      | 0          | 1        | 16    |
| 1982  | 10    | 0                | 18     | 25         | 10       | 18    |
| ⋮     | ⋮     | ⋮                | ⋮      | ⋮          | ⋮        | ⋮     |
| 2013  | 4     | 200              | 158    | 225        | 231      | 323   |
| 2013  | 5     | 333              | 292    | 60         | 71       | 201   |
| 2013  | 6     | 509              | 205    | 100        | 135      | 103   |
| 2013  | 7     | 124              | 68     | 45         | 100      | 231,4 |
| 2013  | 8     | 0                | 29     | 0          | 0        | 3,5   |
| 2013  | 9     | 0                | 0      | 10         | 0        | 0     |
| 2013  | 10    | 0                | 63     | 15         | 0        | 130   |
| 2013  | 11    | 208              | 248    | 182        | 120      | 285   |
| 2013  | 12    | 955              | 656    | 271        | 309      | 416   |



**Lampiran 2:** Data Indikator ENSO Tahun 1982-2013

| Tahun | Bulan | ENSO (°C)   |           |           |             |
|-------|-------|-------------|-----------|-----------|-------------|
|       |       | ANOM<br>1+2 | ANOM<br>3 | ANOM<br>4 | ANOM<br>3,4 |
| 1982  | 1     | -0,17       | 0,24      | 0         | 0,15        |
| 1982  | 2     | -0,58       | 0,01      | 0,11      | -0,02       |
| 1982  | 3     | -1,31       | -0,16     | 0,22      | -0,02       |
| 1982  | 4     | -0,97       | 0,18      | 0,42      | 0,24        |
| 1982  | 5     | -0,23       | 0,71      | 0,7       | 0,69        |
| 1982  | 6     | 0,07        | 1,03      | 0,92      | 1,1         |
| 1982  | 7     | 0,87        | 0,82      | 0,58      | 0,88        |
| 1982  | 8     | 1,1         | 1,16      | 0,36      | 1,11        |
| 1982  | 9     | 1,44        | 1,67      | 0,47      | 1,39        |
| 1982  | 10    | 2,12        | 2,19      | 0,72      | 1,95        |
| ⋮     | ⋮     | ⋮           | ⋮         | ⋮         | ⋮           |
| 2013  | 4     | -0,86       | -0,15     | -0,03     | -0,1        |
| 2013  | 5     | -1,38       | -0,69     | -0,08     | -0,27       |
| 2013  | 6     | -1,4        | -0,64     | -0,08     | -0,21       |
| 2013  | 7     | -1,33       | -0,66     | -0,04     | -0,31       |
| 2013  | 8     | -0,98       | -0,55     | 0,03      | -0,28       |
| 2013  | 9     | -0,57       | -0,13     | 0,01      | -0,07       |
| 2013  | 10    | -0,63       | -0,21     | 0,04      | -0,33       |
| 2013  | 11    | -0,54       | -0,17     | 0,27      | 0,01        |
| 2013  | 12    | -0,2        | -0,04     | 0,15      | -0,04       |

**Lampiran 3:** Program Matlab untuk Membuat *Scatterplot* Dari Data Asli (Antara Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur)

| Banyuwangi  | Jember  |
|---|---|
| <pre>CH = DATA(:,1); ANOM12= DATA(:,6); scatterhist(CH,ANOM12) xlabel('CH.Bny') ylabel(' ANOM 1+2')</pre> | <pre>CH = DATA(:,2); ANOM12= DATA(:,6); scatterhist(CH,ANOM12) xlabel('CH.Jmb') ylabel(' ANOM 1+2')</pre> |
| <pre>CH = DATA(:,1); ANOM3= DATA(:,7); scatterhist(CH,ANOM3) xlabel('CH.Bny') ylabel(' ANOM 3')</pre>     | <pre>CH = DATA(:,2); ANOM3= DATA(:,7); scatterhist(CH,ANOM3) xlabel('CH.Jmb') ylabel(' ANOM 3')</pre>     |
| <pre>CH = DATA(:,1); ANOM4= DATA(:,8); scatterhist(CH,ANOM4) xlabel('CH.Bny') ylabel(' ANOM 4')</pre>     | <pre>CH = DATA(:,2); ANOM4= DATA(:,8); scatterhist(CH,ANOM4) xlabel('CH.Jmb') ylabel(' ANOM 4')</pre>     |
| <pre>CH = DATA(:,1); ANOM34= DATA(:,9); scatterhist(CH,ANOM34) xlabel('CH.Bny') ylabel(' ANOM 3.4')</pre> | <pre>CH = DATA(:,2); ANOM34= DATA(:,9); scatterhist(CH,ANOM34) xlabel('CH.Jmb') ylabel(' ANOM 3.4')</pre> |

**Lampiran 4:** Program R untuk Beberapa Korelasi Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO

```
banyuwangi=read.table("D:\\banyuwangi.txt")  
CH=banyuwangi[,1]  
ANOM1=banyuwangi[,2]  
correlation(CH,ANOM1,method="pearson")  
correlation(CH,ANOM1,method="spearman")  
correlation(CH,ANOM1,method="kendall")
```

```
CH=banyuwangi[,1]  
ANOM3=banyuwangi[,3]  
correlation(CH,ANOM3,method="pearson")  
correlation(CH,ANOM3,method="spearman")  
correlation(CH,ANOM3,method="kendall")
```

```
CH=banyuwangi[,1]  
ANOM4=banyuwangi[,4]  
correlation(CH,ANOM4,method="pearson")  
correlation(CH,ANOM4,method="spearman")  
correlation(CH,ANOM4,method="kendall")
```

```
CH=banyuwangi[,1]  
ANOM34=banyuwangi[,5]  
correlation(CH,ANOM34,method="pearson")  
correlation(CH,ANOM34,method="spearman")  
correlation(CH,ANOM34,method="kendall")
```



**Lampiran 5:** Program Matlab *Scatterplot* Transformasi [0,1]

```
CH = DATA(:,1);  
ANOM12= DATA(:,6);  
u1 = ksdensity(CH,CH,'function','cdf');  
v1= ksdensity(ANOM12,ANOM12,'function','cdf');  
scatterhist(u1,v1)  
xlabel('CH.Bny')  
ylabel('ANOM 1+2')
```

```
CH = DATA(:,1);  
ANOM3= DATA(:,7);  
u1 = ksdensity(CH,CH,'function','cdf');  
v1= ksdensity(ANOM3,ANOM3,'function','cdf');  
scatterhist(u1,v1)  
xlabel('CH.Bny')  
ylabel(' ANOM 3')
```

```
CH = DATA(:,1);  
ANOM4= DATA(:,8);  
u1 = ksdensity(CH,CH,'function','cdf');  
v1= ksdensity(ANOM4,ANOM4,'function','cdf');  
scatterhist(u1,v1)  
xlabel('CH.Bny')  
ylabel(' ANOM 4')
```

```
CH = DATA(:,1);  
ANOM34= DATA(:,9);  
u1 = ksdensity(CH,CH,'function','cdf');  
v1= ksdensity(ANOM34,ANOM34,'function','cdf');  
scatterhist(u1,v1)  
xlabel('CH.Bny')  
ylabel(' ANOM 3.4')
```

**Lampiran 6:** Program R Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall

```
banyuwangi=read.table("D:\\banyuwangi.txt")
```

```
x=banyuwangi[,1]
```

```
y=banyuwangi[,2]
```

```
n<-nrow(banyuwangi)
```

```
bny<-cbind(x,y)
```

```
u<-bny[,1]
```

```
v<-bny[,2]
```

```
rankbny<-apply(bny,2,rank)/(n+1)
```

```
fc<-frankCopula(-0.009)
```

```
fitCopula(fc,rankbny,method="itau")
```

```
cc<-claytonCopula(-0.019)
```

```
fitCopula(cc,rankbny,method="itau")
```

```
gc<-gumbelCopula(0.991)
```

```
fitCopula(gc,rankbny,method="itau")
```

```
x=banyuwangi[,1]
```

```
y=banyuwangi[,3]
```

```
n<-nrow(banyuwangi)
```

```
bny<-cbind(x,y)
```

```
u<-bny[,1]
```

```
v<-bny[,2]
```

```
rankbny<-apply(bny,2,rank)/(n+1)
```

```
fc<-frankCopula(-0.104)
```

```
fitCopula(fc,rankbny,method="itau")
```

```
cc<-claytonCopula(-0.188)
```

```
fitCopula(cc,rankbny,method="itau")
```

```
gc<-gumbelCopula(0.906)
```

```
fitCopula(gc,rankbny,method="itau")
```

**Lampiran 6:** Program R Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall (lanjutan)

```
x=banyuwangi[,1]
y=banyuwangi[,4]
n<-nrow(banyuwangi)
bny<-cbind(x,y)
u<-bny[,1]
v<-bny[,2]
rankbny<-apply(bny,2,rank)/(n+1)
fc<-frankCopula(-0.087)
fitCopula(fc,rankbny,method="itau")
cc<-claytonCopula(-0.160)
fitCopula(cc,rankbny,method="itau")
gc<-gumbelCopula(0.920)
fitCopula(gc,rankbny,method="itau")
```

```
x=banyuwangi[,1]
y=banyuwangi[,5]
n<-nrow(banyuwangi)
bny<-cbind(x,y)
u<-bny[,1]
v<-bny[,2]
rankbny<-apply(bny,2,rank)/(n+1)
fc<-frankCopula(-0.115)
fitCopula(fc,rankbny,method="itau")
cc<-claytonCopula(-0.206)
fitCopula(cc,rankbny,method="itau")
gc<-gumbelCopula(0.897)
fitCopula(gc,rankbny,method="itau")
nc<-normalCopula(-0.066)
fitCopula(nc,rankbny,method="itau")
```



**Lampiran 7:** Program R *Fitting Copula dengan MLE*

```
banyuwangi=read.table("D:\\banyuwangi.txt")
```

```
x=banyuwangi[,1]
```

```
y=banyuwangi[,3]
```

```
n<-nrow(banyuwangi)
```

```
bny<-cbind(x,y)
```

```
u<-bny[,1]
```

```
v<-bny[,2]
```

```
rankbny<-apply(bny,2,rank)/(n+1)
```

```
fc<-frankCopula(-0.941)
```

```
fitCopula(fc,rankbny,method="ml")
```

```
cc<-claytonCopula(-0.188)
```

```
fitCopula(cc,rankbny,method="ml")
```

```
x=banyuwangi[,1]
```

```
y=banyuwangi[,4]
```

```
n<-nrow(banyuwangi)
```

```
bny<-cbind(x,y)
```

```
u<-bny[,1]
```

```
v<-bny[,2]
```

```
rankbny<-apply(bny,2,rank)/(n+1)
```

```
fc<-frankCopula(-0.786)
```

```
fitCopula(fc,rankbny,method="ml")
```

```
cc<-claytonCopula(-0.160)
```

```
fitCopula(cc,rankbny,method="ml")
```

```
x=banyuwangi[,1]
```

```
y=banyuwangi[,5]
```

```
n<-nrow(banyuwangi)
```

```
bny<-cbind(x,y)
```

```
u<-bny[,1]
```

```
v<-bny[,2]
```

```
rankbny<-apply(bny,2,rank)/(n+1)
```

```
fc<-frankCopula(-1.047)
```

```
fitCopula(fc,rankbny,method="ml")
```

```
cc<-claytonCopula(-0.206)
```

```
fitCopula(cc,rankbny,method="ml")
```

```
nc<-normalCopula(-0.180)
```

```
fitCopula(nc,rankbny,method="ml")
```

**Lampiran 8:** Program R *Scatterplot* Rank Copula

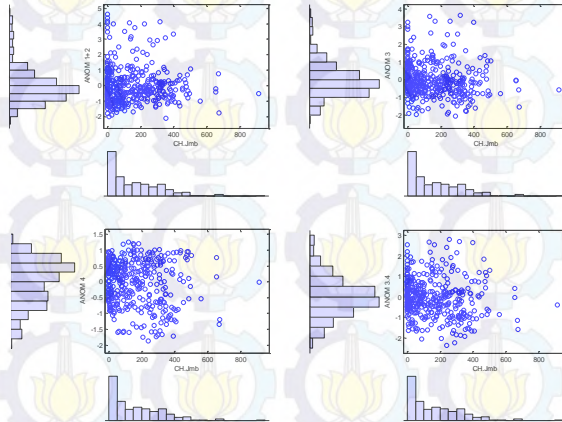
```
n=384
n1=5000
fc<-frankCopula(-0.915)
bny<-rcopula(fc,n)
plot(bny,xlab="CH Bny",ylab="ANOM 3")
bny1<-rcopula(fc,n1)
plot(bny1,xlab="CH Bny",ylab="ANOM 3")
```

```
n=384
n1=5000
cc<-claytonCopula(-0.299)
bny<-rcopula(cc,n)
plot(bny,xlab="CH Bny",ylab="ANOM 4")
bny1<-rcopula(cc,n1)
plot(bny1,xlab="CH Bny",ylab="ANOM 4")
```

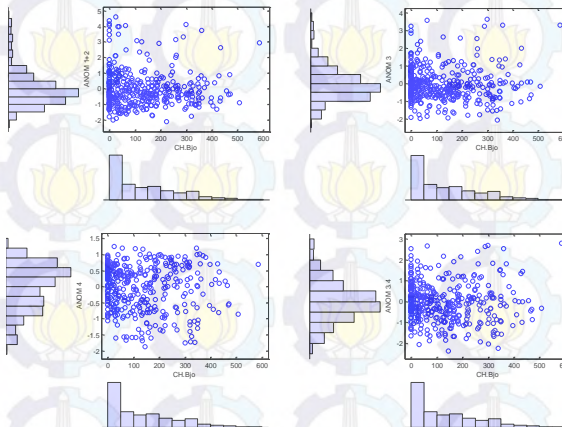
```
n=384
n1=5000
cc<-claytonCopula(-0.247)
bny<-rcopula(cc,n)
plot(bny,xlab="CH Bny",ylab="ANOM 3.4")
bny1<-rcopula(cc,n1)
plot(bny1,xlab="CH Bny",ylab="ANOM 3.4")
```

## Lampiran 9: Scatterplot dan Histogram antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013

### 1. Jember



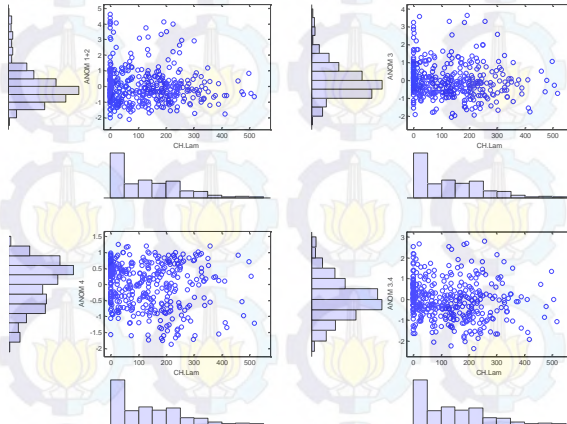
### 2. Bojonegoro



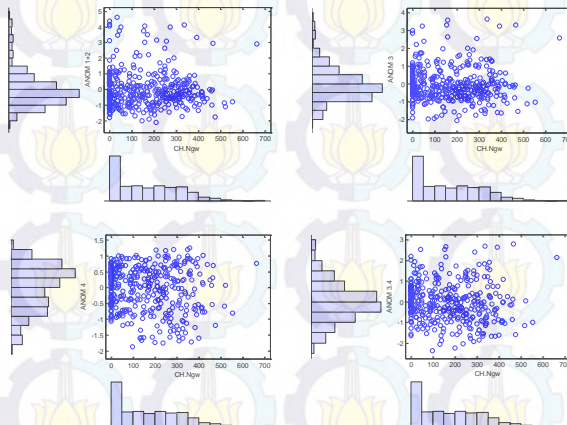


**Lampiran 9: Scatterplot dan Histogram antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013 (lanjutan)**

**3. Lamongan**

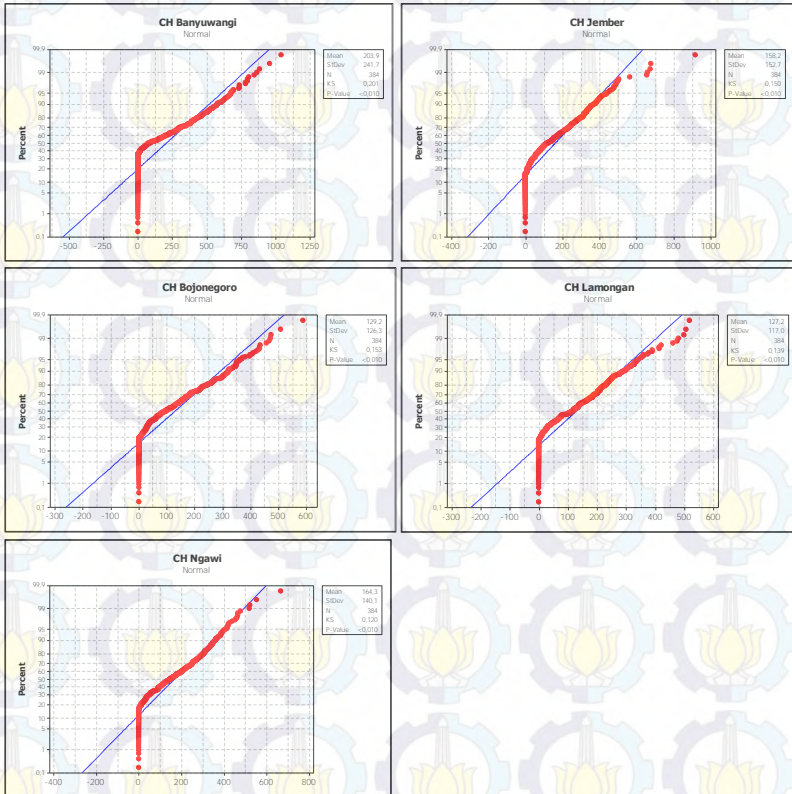


**4. Ngawi**



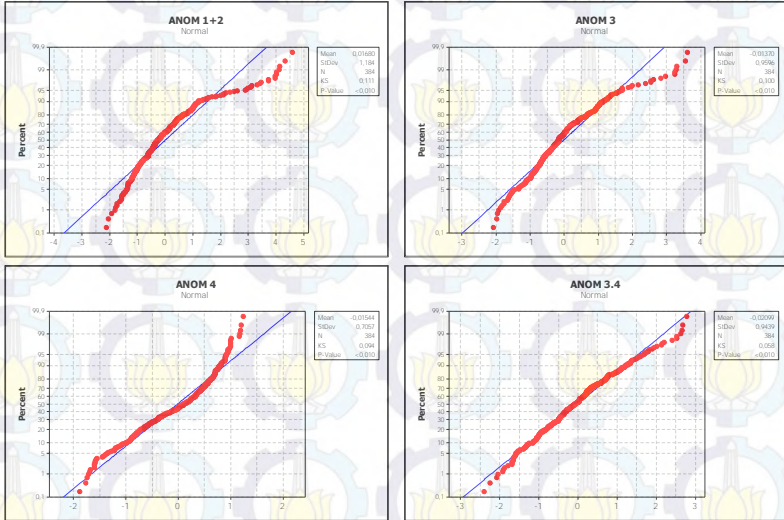
## Lampiran 10: Output Pengujian Normalitas Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab

### 1. Pengujian Normalitas Lag 0 Curah Hujan



**Lampiran 10: Output Pengujian Normalitas Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab (lanjutan)**

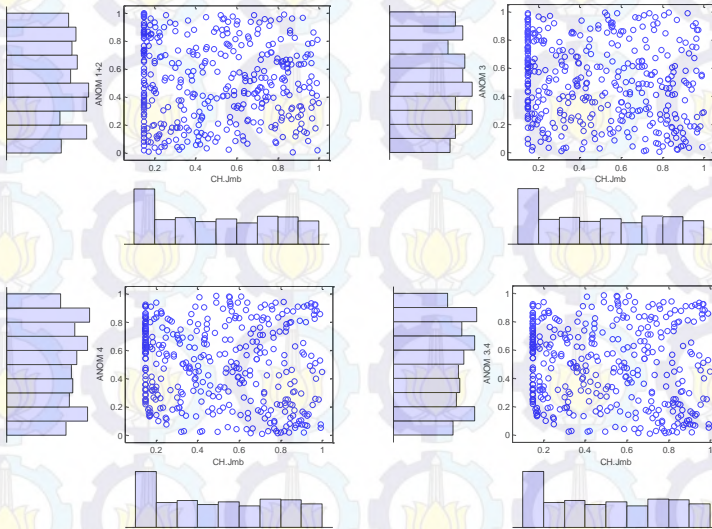
**2. Pengujian Normalitas Lag 0 Indikator ENSO**



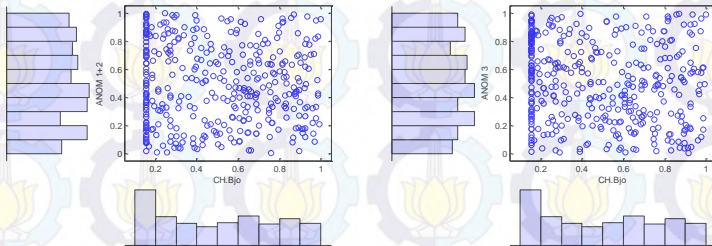


## Lampiran 11: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO

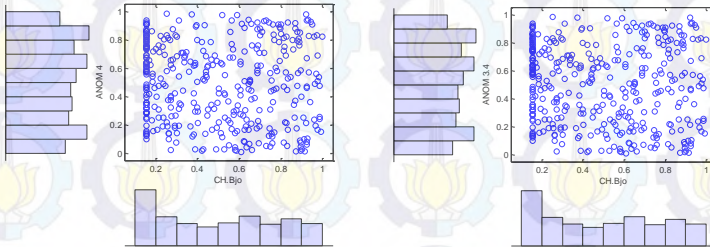
### 1. Jember



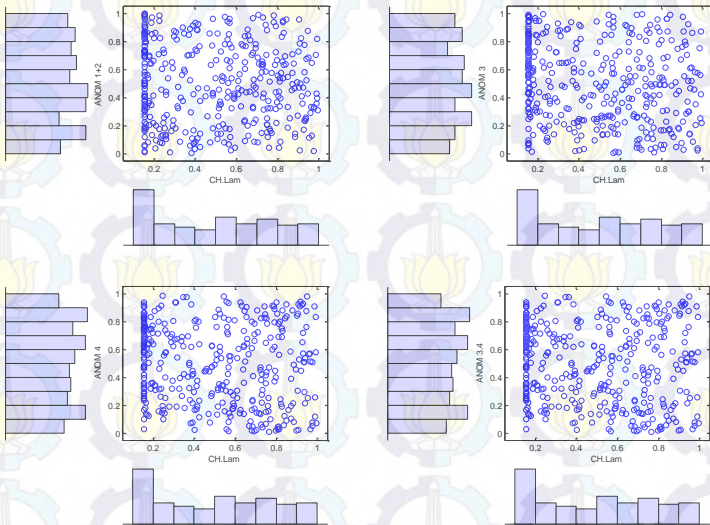
### 2. Bojonegoro



**Lampiran 11: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO (lanjutan)**

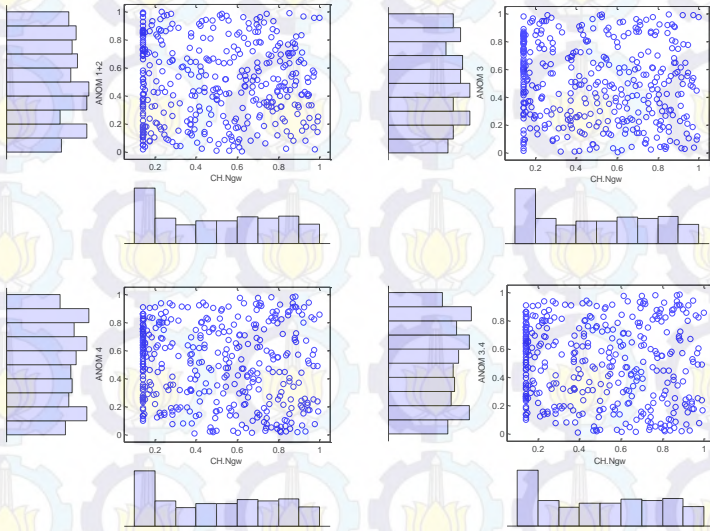


### 3. Lamongan



## Lampiran 11: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO (lanjutan)

### 4. Ngawi





**Lampiran 12:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 0 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO

| Variabel                   | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Jember dan ANOM 1+2     | Frank   | -0,141    | 0,618          |
|                            | Clayton | -0,031    | 0,612          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Jember dan ANOM 3       | Frank   | -1,127    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,220    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Jember dan ANOM 4       | Frank   | -0,766    | <b>0,012</b>   |
|                            | Clayton | -0,156    | <b>0,006</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Jember dan ANOM 3,4     | Frank   | -1,166    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,227    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,199    | <b>0,000</b>   |
| CH Bojonegoro dan ANOM 1+2 | Frank   | -0,393    | 0,166          |
|                            | Clayton | -0,084    | 0,147          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | Frank   | -0,885    | <b>0,003</b>   |
|                            | Clayton | -0,178    | <b>0,001</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Bojonegoro dan ANOM 4   | Frank   | -0,525    | <i>0,071</i>   |
|                            | Clayton | -0,110    | <i>0,055</i>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

**Lampiran 12:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 0 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel                   | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,919    | <b>0,002</b>   |
|                            | Clayton | -0,184    | <b>0,001</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,158    | <b>0,002</b>   |
| CH Lamongan dan ANOM 1+2   | Frank   | -0,460    | <i>0,092</i>   |
|                            | Clayton | -0,097    | <i>0,075</i>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | Frank   | -1,193    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,231    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 4     | Frank   | -0,865    | <b>0,005</b>   |
|                            | Clayton | -0,174    | <b>0,002</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4   | Frank   | -1,223    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,236    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,209    | <b>0,000</b>   |
| CH Ngawi dan ANOM 1+2      | Frank   | -0,164    | 0,563          |
|                            | Clayton | -0,036    | 0,556          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Ngawi dan ANOM 3        | Frank   | -0,803    | <b>0,005</b>   |
|                            | Clayton | -0,163    | <b>0,002</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

**Lampiran 12:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 0 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO (lanjutan)

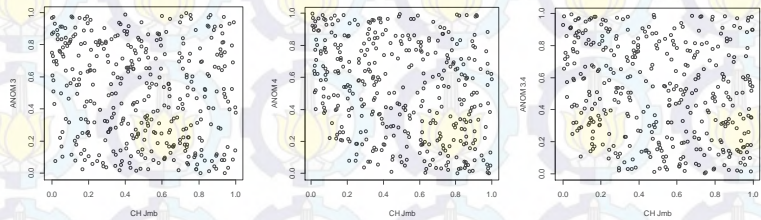
| Variabel              | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|-----------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Ngawi dan ANOM 4   | Frank   | -0,511    | <i>0,085</i>   |
|                       | Clayton | -0,107    | <i>0,067</i>   |
|                       | Gumbel  | -         | -              |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,865    | <b>0,003</b>   |
|                       | Clayton | -0,174    | <b>0,001</b>   |
|                       | Gumbel  | -         | -              |
|                       | Normal  | -0,149    | <b>0,003</b>   |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$   
 Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

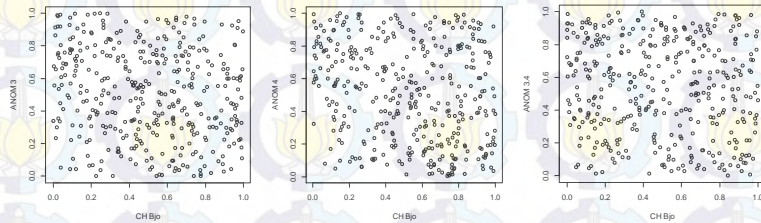


## Lampiran 13: Scatterplot Rank Copula antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO

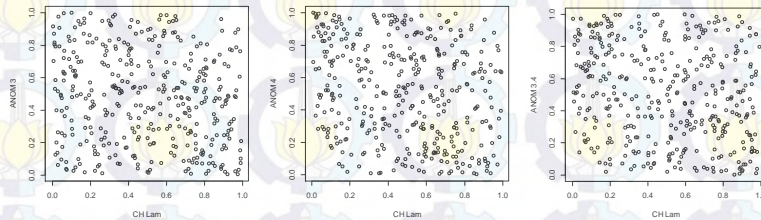
### 1. Jember



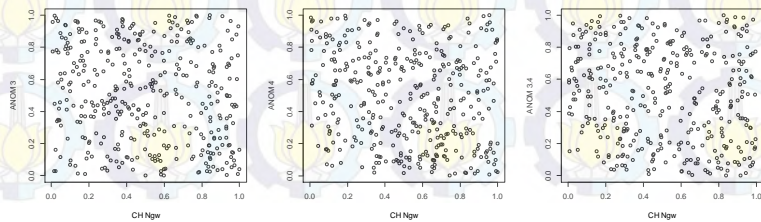
### 2. Bojonegoro



### 3. Lamongan

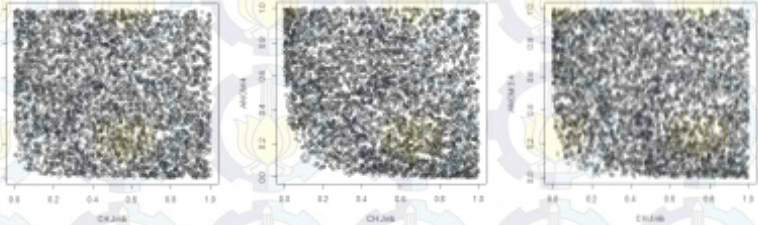


### 4. Ngawi

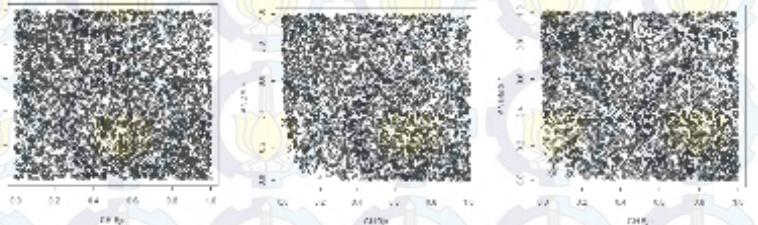


**Lampiran 14: Scatterplot Rank Copula Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO**

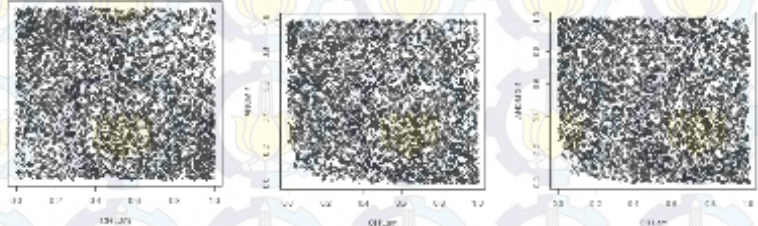
**1. Jember**



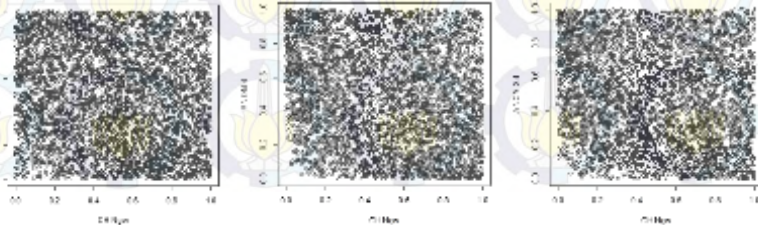
**2. Bojonegoro**



**3. Lamongan**

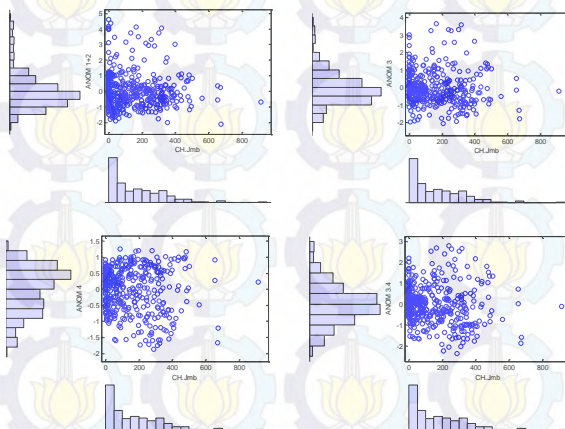


**4. Ngawi**

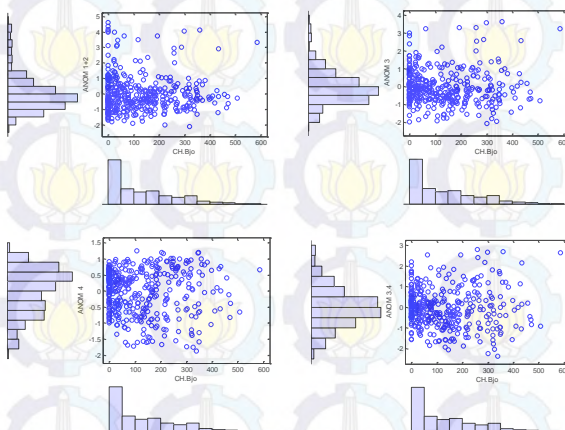


## Lampiran 15: Scatterplot dan Histogram antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013

### 1. Jember



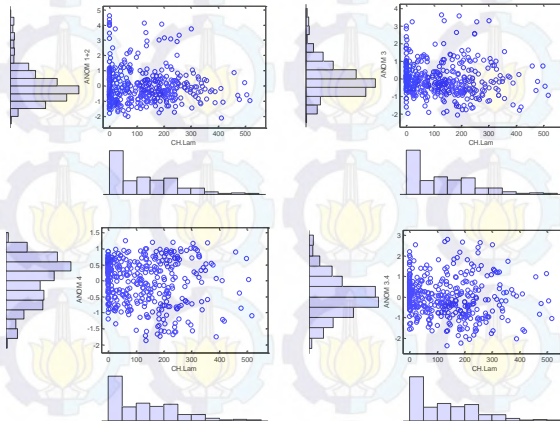
### 2. Bojonegoro



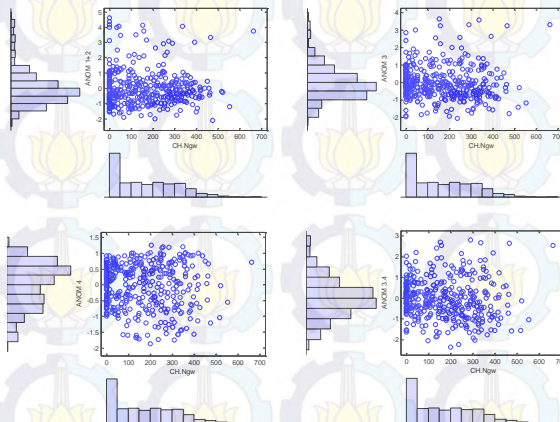


**Lampiran 15:** *Scatterplot* dan *Histogram* antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013 (lanjutan)

**3. Lamongan**

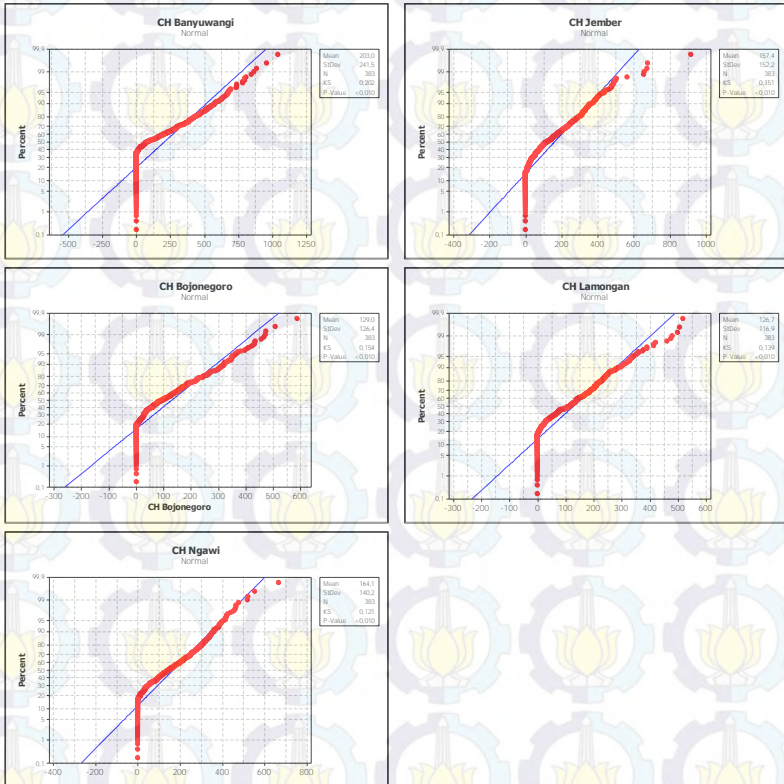


**4. Ngawi**



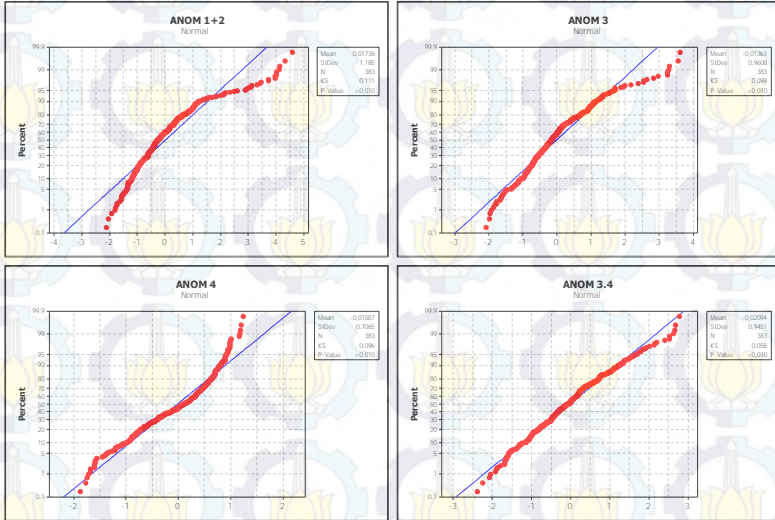
## Lampiran 16: Output Pengujian Normalitas Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab

### 1. Pengujian Normalitas Lag 1 Curah Hujan



**Lampiran 16:** Output Pengujian Normalitas Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab (lanjutan)

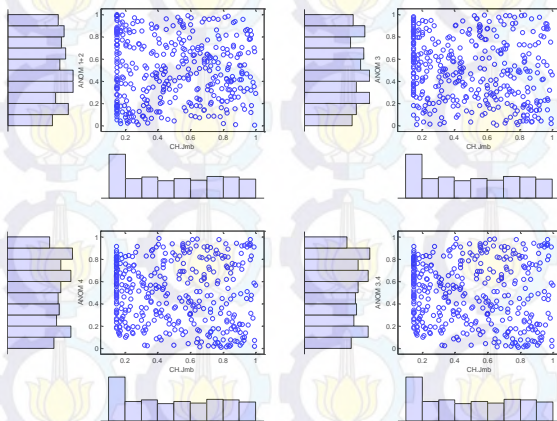
**2. Pengujian Normalitas Lag 1 Indikator ENSO**



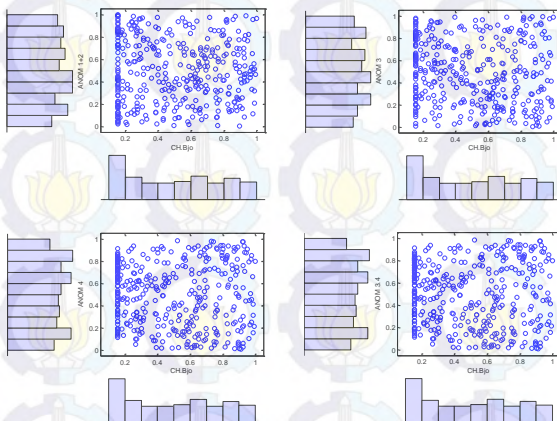


## Lampiran 17: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO

### 1. Jember

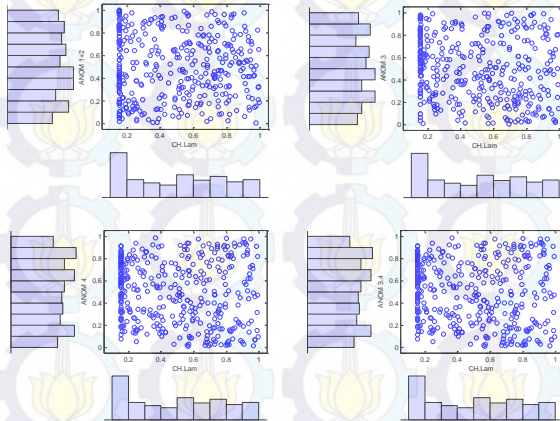


### 2. Bojonegoro

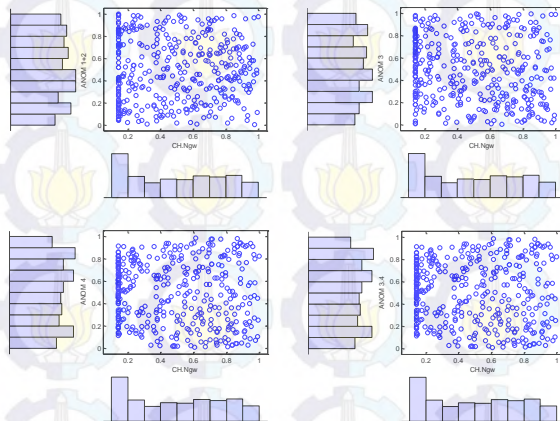


## Lampiran 17: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO (lanjutan)

### 3. Lamongan



### 4. Ngawi



**Lampiran 18:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 1 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO

| Variabel                   | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Jember dan ANOM 1+2     | Frank   | -0,105    | 0,720          |
|                            | Clayton | -0,023    | 0,717          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Jember dan ANOM 3       | Frank   | -1,178    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,229    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Jember dan ANOM 4       | Frank   | -0,634    | <b>0,038</b>   |
|                            | Clayton | -0,131    | <b>0,025</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Jember dan ANOM 3,4     | Frank   | -1,154    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,225    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,197    | <b>0,000</b>   |
| CH Bojonegoro dan ANOM 1+2 | Frank   | -0,183    | 0,536          |
|                            | Clayton | -0,040    | 0,527          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | Frank   | -0,948    | <b>0,002</b>   |
|                            | Clayton | -0,189    | <b>0,001</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Bojonegoro dan ANOM 4   | Frank   | -0,261    | 0,372          |
|                            | Clayton | -0,056    | 0,357          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$



**Lampiran 18:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 1 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel                   | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,849    | <b>0,005</b>   |
|                            | Clayton | -0,171    | <b>0,002</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,147    | <b>0,004</b>   |
| CH Lamongan dan ANOM 1+2   | Frank   | -0,206    | 0,463          |
|                            | Clayton | -0,045    | 0,452          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | Frank   | -1,211    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,234    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 4     | Frank   | -0,626    | <b>0,038</b>   |
|                            | Clayton | -0,130    | <b>0,025</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4   | Frank   | -1,170    | <b>0,000</b>   |
|                            | Clayton | -0,227    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,200    | <b>0,000</b>   |
| CH Ngawi dan ANOM 1+2      | Frank   | 0,029     | 0,919          |
|                            | Clayton | 0,006     | 0,919          |
|                            | Gumbel  | 1,003     | <b>0,000</b>   |
| CH Ngawi dan ANOM 3        | Frank   | -0,931    | <b>0,002</b>   |
|                            | Clayton | -0,186    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

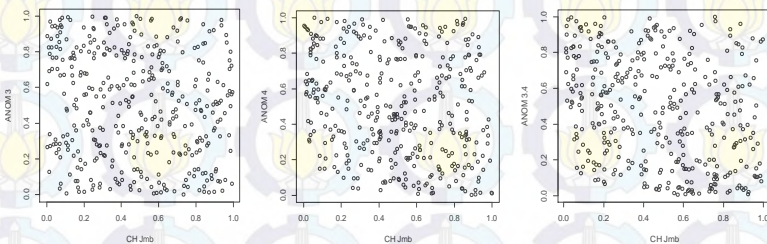
**Lampiran 18:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 1 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel              | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|-----------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Ngawi dan ANOM 4   | Frank   | -0,322    | 0,269          |
|                       | Clayton | -0,069    | 0,251          |
|                       | Gumbel  | -         | -              |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,892    | <b>0,003</b>   |
|                       | Clayton | -0,179    | <b>0,001</b>   |
|                       | Gumbel  | -         | -              |
|                       | Normal  | -0,154    | <b>0,002</b>   |

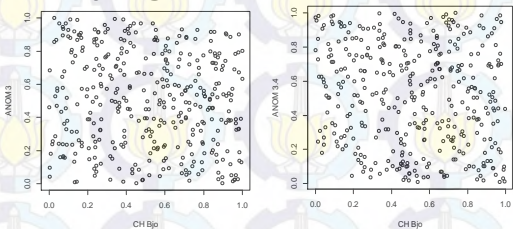
Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$   
 Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

## Lampiran 19: Scatterplot Rank Copula antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO

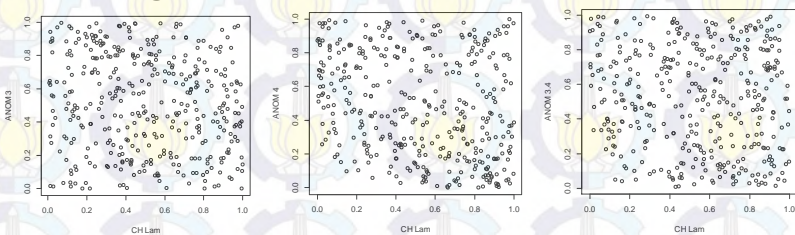
### 1. Jember



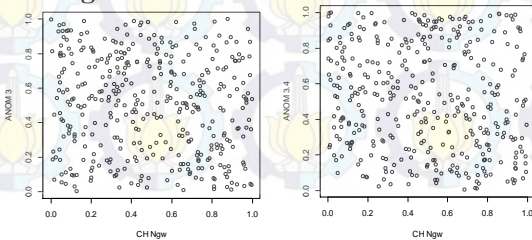
### 2. Bojonegoro



### 3. Lamongan



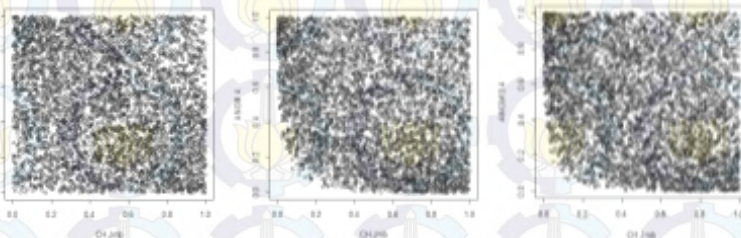
### 4. Ngawi



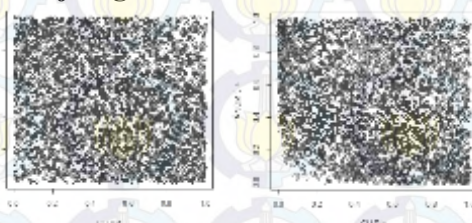


**Lampiran 20: Scatterplot Rank Copual Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO**

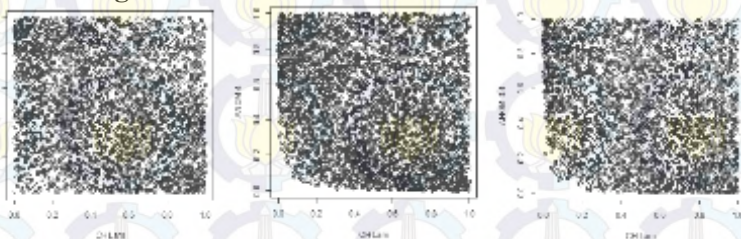
**1. Jember**



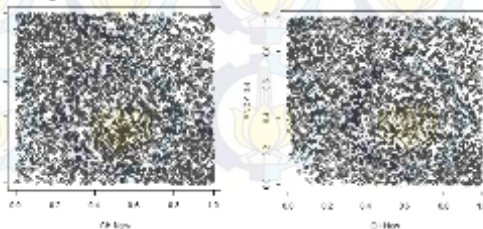
**2. Bojonegoro**



**3. Lamongan**

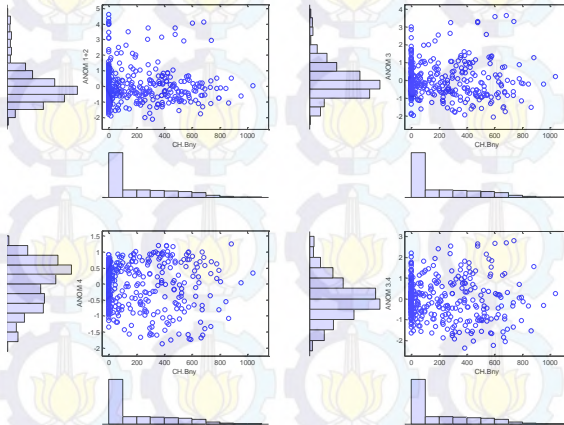


**4. Ngawi**

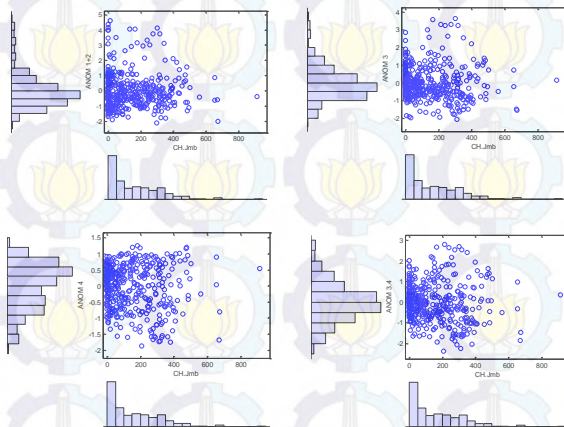


## Lampiran 21: Scatterplot dan Histogram antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013

### 1. Banyuwangi

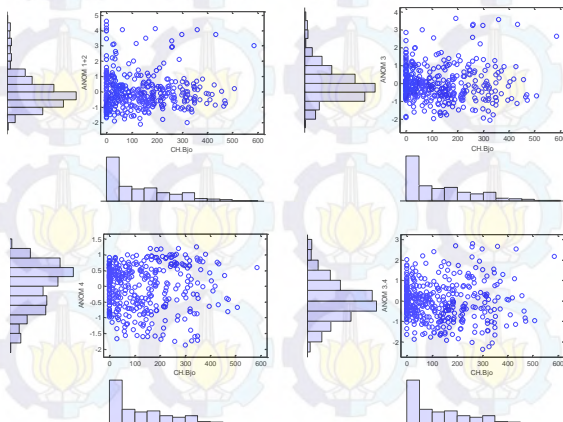


### 2. Jember

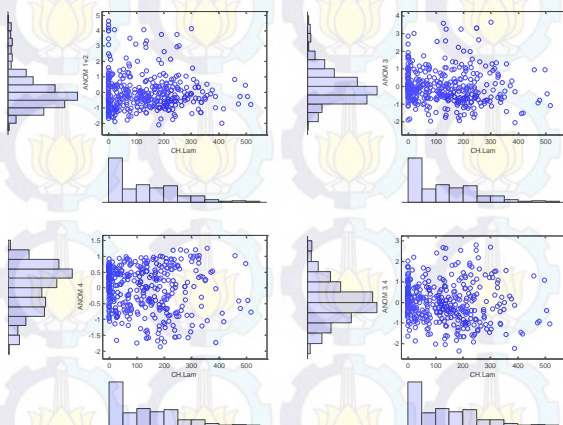


**Lampiran 21:** *Scatterplot* dan *Histogram* antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013 (lanjutan)

**3. Bojonegoro**



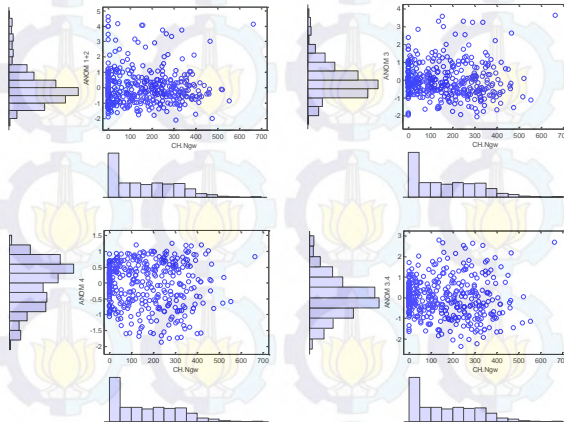
**4. Lamongan**





**Lampiran 21:** *Scatterplot* dan *Histogram* antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013 (lanjutan)

**5. Ngawi**



**Lampiran 22:** Koefisien Korelasi. *P-value* antara Lag 2 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Lima Kabupaten Jawa Timur

| Variabel      |          | Pearson            |                | Spearman           |                | Tau-Kendall        |                |
|---------------|----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|               |          | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> |
| CH Banyuwangi | ANOM 1+2 | -0,553             | 0,581          | -0,015             | 0,770          | -0,012             | 0,747          |
|               | ANOM 3   | -0,755             | 0,451          | -0,126             | <b>0,014</b>   | -0,090             | <b>0,012</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,070             | 0,175          | -0,032             | 0,533          | -0,023             | 0,531          |
|               | ANOM 3,4 | -0,052             | 0,315          | -0,108             | <b>0,035</b>   | -0,075             | <b>0,036</b>   |
| CH Jember     | ANOM 1+2 | -0,045             | 0,384          | -0,022             | 0,664          | -0,014             | 0,690          |
|               | ANOM 3   | -0,081             | 0,116          | -0,161             | <b>0,002</b>   | -0,114             | <b>0,001</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,097             | 0,058          | -0,082             | 0,111          | -0,057             | 0,104          |
|               | ANOM 3,4 | -0,091             | 0,075          | -0,153             | <b>0,003</b>   | -0,107             | <b>0,002</b>   |
| CH Bojonegoro | ANOM 1+2 | -0,002             | 0,965          | -0,004             | 0,943          | -0,005             | 0,882          |
|               | ANOM 3   | -0,016             | 0,758          | -0,120             | <b>0,019</b>   | -0,085             | <b>0,015</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,016             | 0,759          | -0,001             | 0,978          | -0,006             | 0,865          |
|               | ANOM 3,4 | -0,017             | 0,737          | -0,090             | 0,079          | -0,066             | 0,060          |
| CH Lamongan   | ANOM 1+2 | -0,055             | 0,283          | -0,019             | 0,714          | -0,011             | 0,760          |
|               | ANOM 3   | -0,089             | 0,084          | -0,162             | <b>0,002</b>   | -0,115             | <b>0,001</b>   |
|               | ANOM 4   | -0,080             | 0,116          | -0,062             | 0,227          | -0,046             | 0,191          |
|               | ANOM 3,4 | -0,087             | 0,090          | -0,147             | <b>0,004</b>   | -0,107             | <b>0,002</b>   |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

**Lampiran 22:** Koefisien Korelasi, *P-value* antara Lag 2 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Lima Kabupaten Jawa Timur (lanjutan)

| Variabel |          | Pearson            |                | Spearman           |                | Tau-Kendall        |                |
|----------|----------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|          |          | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> | koefisien korelasi | <i>p-value</i> |
| CH Ngawi | ANOM 1+2 | -0,012             | 0,813          | 0,000              | 0,995          | 0,001              | 0,988          |
|          | ANOM 3   | 0,409              | 0,409          | -0,131             | <b>0,011</b>   | -0,090             | <b>0,010</b>   |
|          | ANOM 4   | -0,062             | 0,230          | -0,032             | 0,530          | -0,017             | 0,620          |
|          | ANOM 3,4 | -0,052             | 0,312          | -0,107             | <b>0,037</b>   | -0,071             | <b>0,041</b>   |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

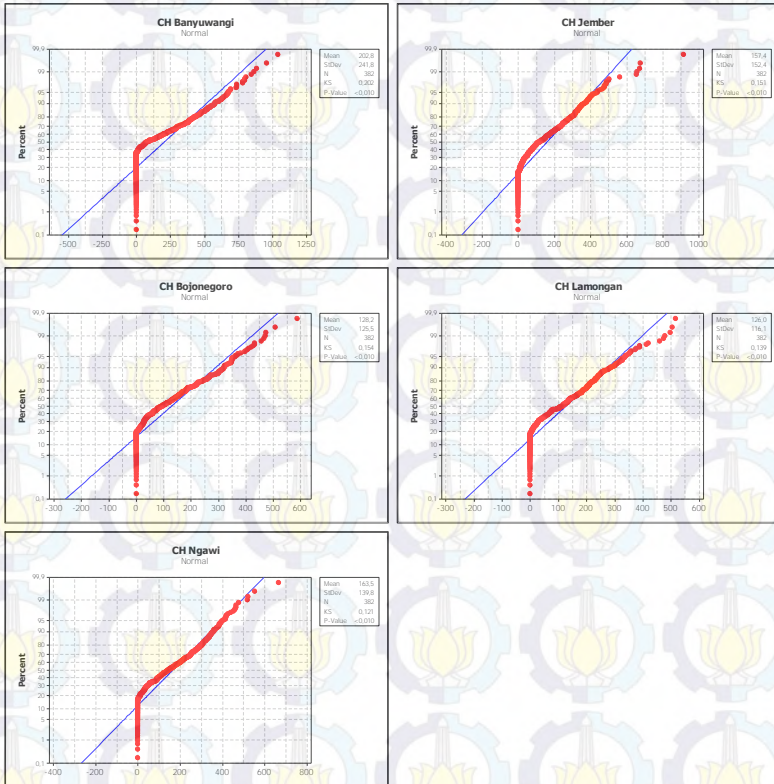


**Lampiran 23:** Uji Normalitas Data untuk Lag 2 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling

| No. | Variabel      | Nilai KS(D) | p-value | p-value AD |
|-----|---------------|-------------|---------|------------|
| 1   | CH Banyuwangi | 0,202       | <0,010  | <0,005     |
| 2   | CH Jember     | 0,151       | <0,010  | <0,005     |
| 3   | CH Bojonegoro | 0,154       | <0,010  | <0,005     |
| 4   | CH Lamongan   | 0,139       | <0,010  | <0,005     |
| 5   | CH Ngawi      | 0,121       | <0,010  | <0,005     |
| 6   | ANOM 1+2      | 0,111       | <0,010  | <0,005     |
| 7   | ANOM 3        | 0,098       | <0,010  | <0,005     |
| 8   | ANOM 4        | 0,094       | <0,010  | <0,005     |
| 9   | ANOM 3.4      | 0,057       | <0,010  | 0,011      |

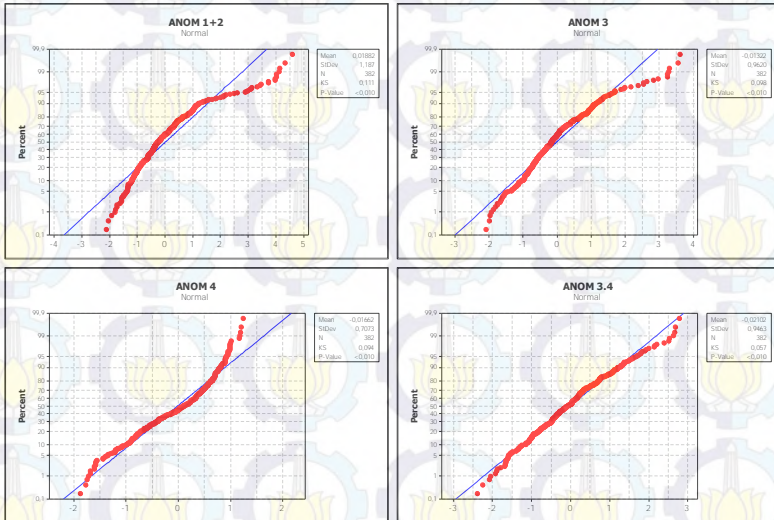
## Lampiran 24: Output Pengujian Normalitas Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab

### 1. Pengujian Normalitas Lag 2 Curah Hujan



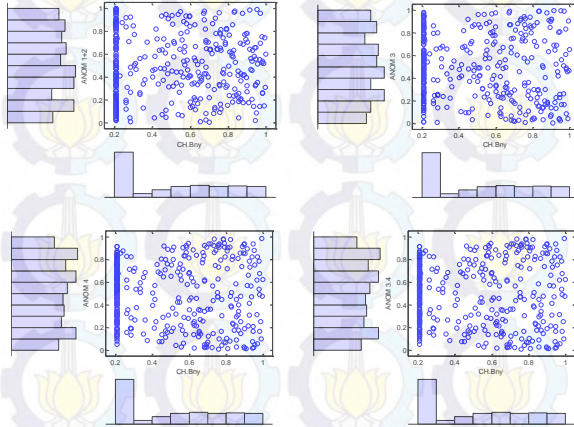
**Lampiran 24:** Output Pengujian Normalitas Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab (lanjutan)

**2. Pengujian Normalitas Lag 2 Indikator ENSO**

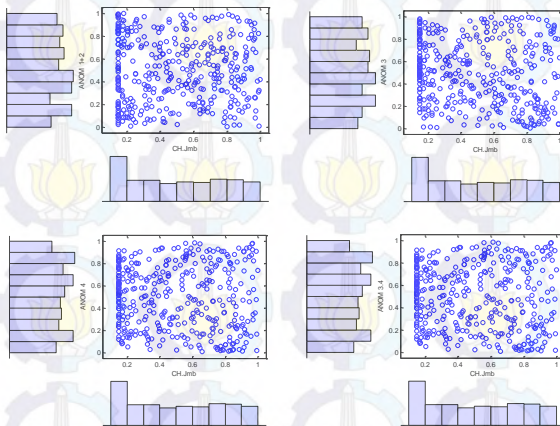


## Lampiran 25: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO

### 1. Banyuwangi



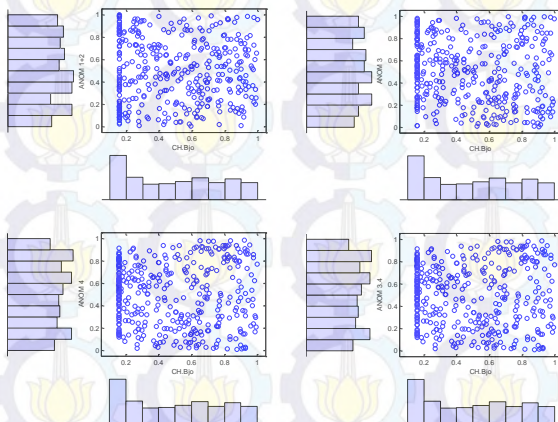
### 2. Jember



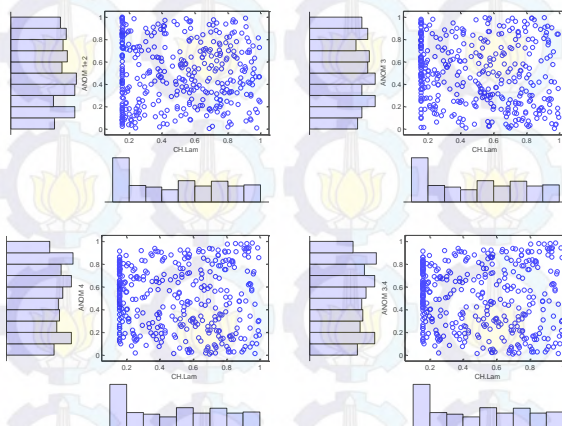


## Lampiran 25: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO (lanjutan)

### 3. Bojonegoro

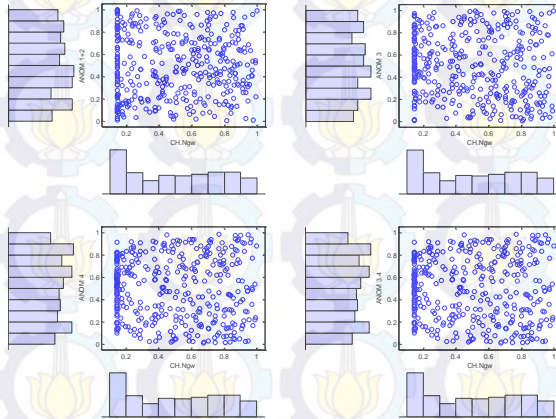


### 4. Lamongan



**Lampiran 25: Scatterplot Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO (lanjutan)**

**5. Ngawi**



**Lampiran 26:** Parameter  $\theta$  Masing-Masing Copula antara Data Lag 2 Curah Hujan di Lima Kabupaten Jawa Timur dan Indikator ENSO

| Variabel                   | Frank  | Clayton | Gumbel | Normal |
|----------------------------|--------|---------|--------|--------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 1+2 | -0,012 | -0,023  | 0,989  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | -0,090 | -0,165  | 0,917  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | -0,023 | -0,044  | 0,978  | -      |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | -0,075 | -0,140  | 0,930  | -0,052 |
| CH Jember dan ANOM 1+2     | -0,014 | -0,027  | 0,986  | -      |
| CH Jember dan ANOM 3       | -0,114 | -0,205  | 0,897  | -      |
| CH Jember dan ANOM 4       | -0,057 | -0,107  | 0,946  | -      |
| CH Jember dan ANOM 3.4     | -0,107 | -0,193  | 0,904  | -0,091 |
| CH Bojonegoro dan ANOM 1+2 | -0,005 | -0,010  | 0,995  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | -0,085 | -0,157  | 0,922  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 4   | -0,006 | -0,012  | 0,994  | -      |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | -0,066 | -0,123  | 0,938  | -0,017 |
| CH Lamongan dan ANOM 1+2   | -0,011 | -0,021  | 0,989  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | -0,115 | -0,206  | 0,897  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 4     | -0,046 | -0,087  | 0,956  | -      |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4   | -0,107 | -0,193  | 0,904  | -0,087 |
| CH Ngawi dan ANOM 1+2      | 0,001  | 0,001   | 1,001  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 3        | -0,090 | -0,165  | 0,918  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 4        | -0,017 | -0,034  | 0,983  | -      |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4      | -0,071 | -0,133  | 0,934  | -0,052 |

Keterangan : (-) = tidak menggunakan Copula Normal

**Lampiran 27:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 2 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO

| Variabel                   | Copula  | Parameter     | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|---------------|----------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 1+2 | Frank   | -0,125        | 0,684          |
|                            | Clayton | -0,027        | 0,679          |
|                            | Gumbel  | -             | -              |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -1,041        | <b>0,001</b>   |
|                            | Clayton | -0,205        | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -             | -              |
| CH Banyuwangi dan ANOM 4   | Frank   | -0,510        | <i>0,090</i>   |
|                            | Clayton | -0,107        | <i>0,072</i>   |
|                            | Gumbel  | -             | -              |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,968        | <b>0,001</b>   |
|                            | Clayton | -0,193        | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -             | -              |
|                            | Normal  | -0,167        | <b>0,001</b>   |
| CH Jember dan ANOM 1+2     | Frank   | -0,047        | 0,878          |
|                            | Clayton | -0,010        | 0,877          |
|                            | Gumbel  | -             | -              |
| CH Jember dan ANOM 3       | Frank   | <b>-0,770</b> | <b>0,012</b>   |
|                            | Clayton | <b>-0,157</b> | <b>0,006</b>   |
|                            | Gumbel  | -             | -              |
| CH Jember dan ANOM 4       | Frank   | -0,053        | 0,854          |
|                            | Clayton | -0,012        | 0,853          |
|                            | Gumbel  | -             | -              |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$



**Lampiran 27:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 2 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel                   | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|----------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Jember dan ANOM 3.4     | Frank   | -0,592    | <b>0,047</b>   |
|                            | Clayton | -0,123    | <b>0,033</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,103    | <b>0,045</b>   |
| CH Bojonegoro dan ANOM 1+2 | Frank   | -0,096    | 0,747          |
|                            | Clayton | -0,021    | 0,744          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | Frank   | -1,044    | <b>0,001</b>   |
|                            | Clayton | -0,206    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Bojonegoro dan ANOM 4   | Frank   | -0,410    | 0,175          |
|                            | Clayton | -0,087    | 0,155          |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,969    | <b>0,002</b>   |
|                            | Clayton | -0,193    | <b>0,000</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |
|                            | Normal  | -0,167    | <b>0,001</b>   |
| CH Lamongan dan ANOM 1+2   | Frank   | 0,005     | 0,987          |
|                            | Clayton | 0,001     | 0,987          |
|                            | Gumbel  | 1,001     | <b>0,000</b>   |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | Frank   | -0,813    | <b>0,007</b>   |
|                            | Clayton | -0,165    | <b>0,003</b>   |
|                            | Gumbel  | -         | -              |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$   
 Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

**Lampiran 27:** Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 2 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO (lanjutan)

| Variabel                 | Copula  | Parameter | <i>p-value</i> |
|--------------------------|---------|-----------|----------------|
| CH Lamongan dan ANOM 4   | Frank   | -0,155    | 0,587          |
|                          | Clayton | -0,034    | 0,580          |
|                          | Gumbel  | -         | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,969    | <b>0,002</b>   |
|                          | Clayton | -0,193    | <b>0,000</b>   |
|                          | Gumbel  | -         | -              |
|                          | Normal  | -0,167    | <b>0,001</b>   |
| CH Ngawi dan ANOM 1+2    | Frank   | 0,005     | 0,987          |
|                          | Clayton | 0,001     | 0,987          |
|                          | Gumbel  | 1,001     | <b>0,000</b>   |
| CH Ngawi dan ANOM 3      | Frank   | -0,813    | <b>0,007</b>   |
|                          | Clayton | -0,165    | <b>0,003</b>   |
|                          | Gumbel  | -         | -              |
| CH Ngawi dan ANOM 4      | Frank   | -0,155    | 0,587          |
|                          | Clayton | -0,034    | 0,580          |
|                          | Gumbel  | -         | -              |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4    | Frank   | -0,641    | <b>0,030</b>   |
|                          | Clayton | -0,133    | <b>0,019</b>   |
|                          | Gumbel  | -         | -              |
|                          | Normal  | -0,111    | <b>0,028</b>   |

Keterangan : Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$

Nilai yang *Italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$

**Lampiran 28:** Hasil *Fitting* Copula dengan MLE untuk Lag 2

| Variabel                   | Copula  | Estimasi | Log-likelihood |
|----------------------------|---------|----------|----------------|
| CH Banyuwangi dan ANOM 3   | Frank   | -0,810   | 3,151          |
|                            | Clayton | -0,189   | <b>6,297</b>   |
| CH Banyuwangi dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,682   | 2,279          |
|                            | Clayton | -0,265   | <b>13,425</b>  |
|                            | Normal  | -0,107   | 1,700          |
| CH Jember dan ANOM 3       | Frank   | -1,011   | 5,146          |
|                            | Clayton | -0,194   | <b>8,694</b>   |
| CH Jember dan ANOM 4       | Frank   | -0,495   | 1,280          |
|                            | Clayton | -0,249   | <i>10,387</i>  |
| CH Jember dan ANOM 3.4     | Frank   | -0,939   | 4,525          |
|                            | Clayton | -0,285   | <b>17,354</b>  |
|                            | Normal  | -0,148   | 3,702          |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3   | Frank   | -0,753   | 2,847          |
|                            | Clayton | -0,149   | <b>4,705</b>   |
| CH Bojonegoro dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,551   | 1,562          |
|                            | Clayton | -0,211   | <b>8,693</b>   |
|                            | Normal  | -0,078   | 0,982          |
| CH Lamongan dan ANOM 3     | Frank   | -1,012   | <b>5,157</b>   |
|                            | Clayton | -        | -              |
| CH Lamongan dan ANOM 3.4   | Frank   | -0,914   | 4,237          |
|                            | Clayton | -0,214   | <b>11,436</b>  |
|                            | Normal  | -0,142   | 3,373          |

Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$  dan *log-likelihood* terbesar

Nilai yang *italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$  dan *log-likelihood* terbesar

**Lampiran 28:** Hasil *Fitting* Copula dengan MLE untuk Lag 2 (lanjutan)

| Variabel              | Copula  | Estimasi | Log-likelihood |
|-----------------------|---------|----------|----------------|
| CH Ngawi dan ANOM 1+2 | Gumbel  | -        | -              |
| CH Ngawi dan ANOM 3   | Frank   | -0,796   | <b>3,284</b>   |
|                       | Clayton | -0,112   | 3,049          |
| CH Ngawi dan ANOM 3.4 | Frank   | -0,634   | 2,134          |
|                       | Clayton | -0,191   | <b>7,274</b>   |
|                       | Normal  | -0,086   | 1,245          |

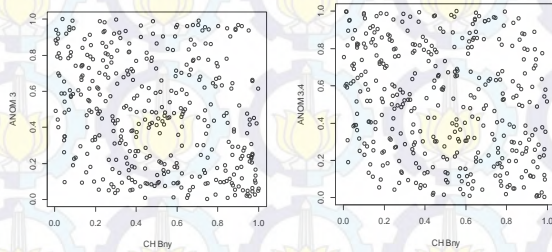
Keterangan: Nilai yang di **Bold** menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,05$  dan *log-likelihood* terbesar

Nilai yang *italic* menunjukkan signifikan pada  $\alpha=0,10$  dan *log-likelihood* terbesar

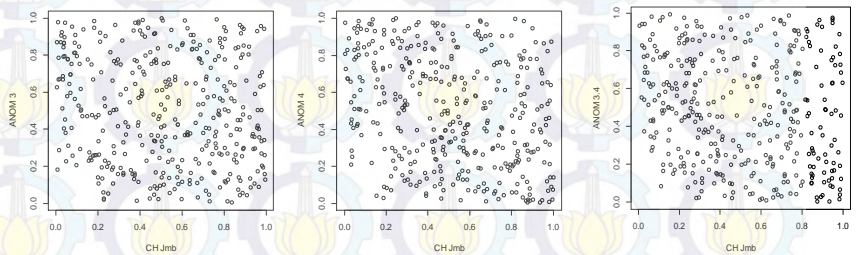


## Lampiran 29: Scatterplot Rank Copula antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO

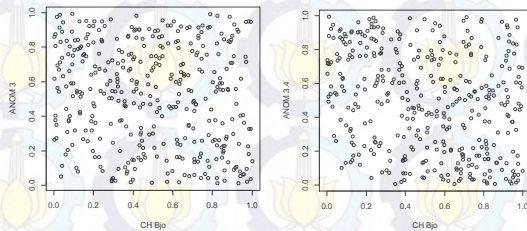
### 1. Banyuwangi



### 2. Jember

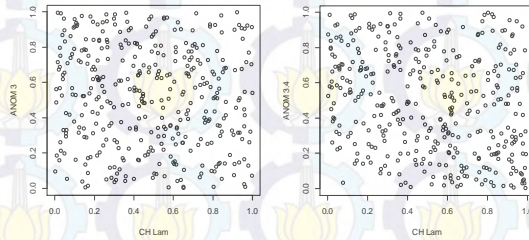


### 3. Bojonegoro

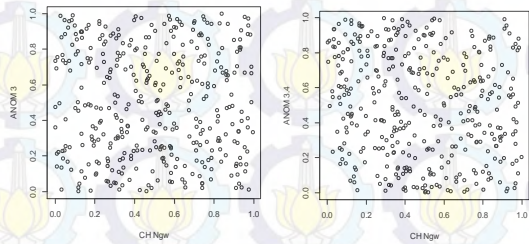


## Lampiran 29: Scatterplot Rank Copula antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO (lanjutan)

### 4. Lamongan

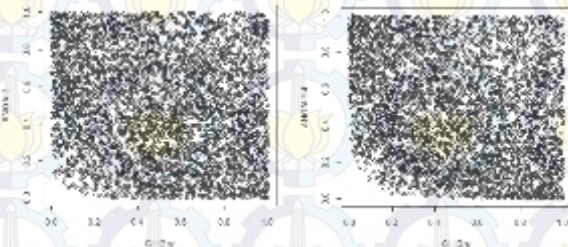


### 5. Ngawi

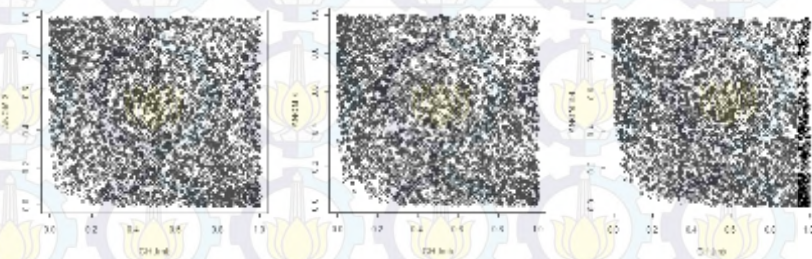


**Lampiran 30: Scatterplot Rank Copual Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO**

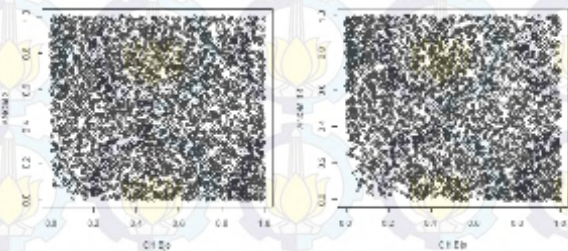
**1. Banyuwangi**



**2. Jember**



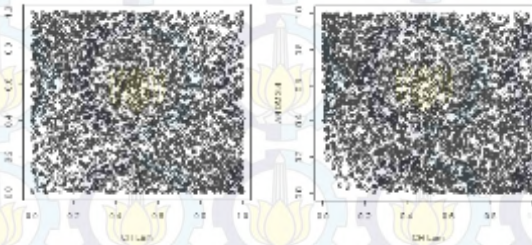
**3. Bojonegoro**



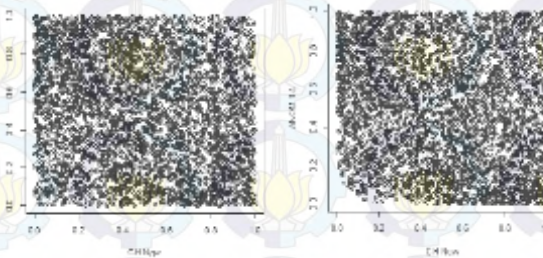


**Lampiran 30:** *Scatterplot* Rank Copual Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO (lanjutan)

#### 4. Lamongan



#### 5. Ngawi







## DAFTAR LAMPIRAN

|  | Halaman |
|--|---------|
| Lampiran 1: Data Curah Hujan di Jawa Timur Tahun 1982-2013 .....   | 71      |
| Lampiran 2: Data Indikator ENSO Tahun 1982-2013 .....  | 72      |
| Lampiran 3: Program Matlab untuk Membuat <i>Scatterplot</i> Dari Data Asli (Antara Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur) .....                                       | 73      |
| Lampiran 4: Program R untuk Beberapa Korelasi Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....   | 74      |
| Lampiran 5: Program Matlab <i>Scatterplot</i> Transformasi [0,1] .....   | 75      |
| Lampiran 6: Program R Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall .....  | 76      |
| Lampiran 7: Program R <i>Fitting</i> Copula dengan MLE.....  | 78      |
| Lampiran 8: Program R <i>Scatterplot</i> Rank Copula .....   | 79      |
| Lampiran 9: <i>Scatterplot</i> dan Histogram antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013.....  | 80      |
| Lampiran 10: Output Pengujian Normalitas Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab.....                           | 82      |
| Lampiran 11: <i>Scatterplot</i> Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....   | 84      |
| Lampiran 12: Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 0 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO..... | 87      |

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran 13: <i>Scatterplot</i> Rank Copula antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....  | 90  |
| Lampiran 14: <i>Scatterplot</i> Rank Copula Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 0 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....  | 91  |
| Lampiran 15: <i>Scatterplot</i> dan Histogram antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013.....   | 92  |
| Lampiran 16: Output Pengujian Normalitas Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab.....                           | 94  |
| Lampiran 17: <i>Scatterplot</i> Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....   | 96  |
| Lampiran 18: Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 1 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO..... | 98  |
| Lampiran 19: <i>Scatterplot</i> Rank Copula antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....  | 101 |
| Lampiran 20: <i>Scatterplot</i> Rank Copual Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 1 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....  | 102 |
| Lampiran 21: <i>Scatterplot</i> dan Histogram antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO Tahun 1982-2013.....   | 103 |
| Lampiran 22: Koefisien Korelasi. <i>P-value</i> antara Lag 2 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Lima Kabupaten Jawa Timur.....  | 106 |

|   |     |
|---|-----|
| Lampiran 23: Uji Normalitas Data untuk Lag 2 Curah Hujan dan Indikator ENSO di Jawa Timur dengan Kolmogorov Smirnov dan Anderson Darling .....                                | 108 |
| Lampiran 24: Output Pengujian Normalitas Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO dengan Uji Kolmogorov Smirnov menggunakan Minitab...                              | 109 |
| Lampiran 25: <i>Scatterplot</i> Transformasi ke Uniform[0,1] antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....  | 111 |
| Lampiran 26: Parameter $\theta$ Masing-Masing Copula antara Data Lag 2 Curah Hujan di Lima Kabupaten Jawa Timur dan Indikator ENSO .....                                      | 114 |
| Lampiran 27: Estimasi Parameter Copula dengan Pendekatan Tau-Kendall untuk Lag 2 Curah Hujan di Kabupaten Jember, Bojonegoro, Lamongan, dan Ngawi dengan Indikator ENSO ..... | 115 |
| Lampiran 28: Hasil <i>Fitting</i> Copula dengan MLE untuk Lag 2 .   | 118 |
| Lampiran 29: <i>Scatterplot</i> Rank Copula antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....   | 120 |
| Lampiran 30: <i>Scatterplot</i> Rank Copual Bangkitan Data (n=5000) antara Lag 2 Curah Hujan di Jawa Timur dan Indikator ENSO .....   | 122 |





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Arshad, M., Rasool, M. T., & Ahmad, M. (2003). Anderson Darling and Modified Anderson Darling Tests for Generalized Pareto Distribution. *Pakistan Journal of Applied Sciences* 3(2), 85-88.
- Bachtiar, H., & Novico, F. (2012). Analisis Spasial Potensi Bahaya Daerah Pantai Terhadap Perubahan Iklim (Studi Kasus: Pulau Bali). *Kolokium Hasil penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air*.
- Berg, D., & Bakken, H. (2006). *Copula Goodness-of-fit Tests: A comparative Study*. The Norwegian Computing.
- BPS. (2013). *Badan Pusat Statistik (BPS)*. Diakses 18 September 2014, dari <http://www.bps.go.id>
- Daniel, W. W. (1989). *Statistik Nonparametrik Terapan*. Jakarta: Gramedia.
- Embrechts, P., Lindskog, F., & McNeil, A. (2001). *Modelling Dependence with Copulas and Application to Risk Management*. Switzerland: Departement of Mathematics, ETHZ CH-8092 Zürich.
- Genest, C., & Nešlehová, J. (2010). *Copulas : Introduction to the Theory and Implementation in R with Applications in Finance and Insurance*. Universite Laval and McGill University.
- Genest, C., & Riverst, L. P. (1993). Statistical Inference Procedures for Bivariate Archimedean Copulas. *Journal of the American Statistics Association*, 1034-1043.
- Hanggoro, W., Harmoko, I. W., & Makmur, E. E. (2012). Simulasi Hujan Ekstrim pada Kejadian Banjir di Mataram Tanggal 10 Januari 2009 Menggunakan WRF-EMS. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 13 No. 1*, 71-80.
- Kpanzou, T. A. (2007). *Copulas in Statistics*. African Institute for Mathematical Sciences (AIMS).

- Kritman, B., & Vecchi, G. A. (2011). *Why Climate Modelers Should Worry About Atmospheric and Oceanic Weather*. USA: World Scientific Publishing Co.
- Lefkovitz, Y. (2013). *Climate and Commodity Prices: An Analysis of the Role of ENSO Forecasts in Agricultural Commodity Markets*. New York: New York University.
- Mangostina, C. (2010). Diakses 21 Agustus 2014, dari <http://bidinagtuns.blogspot.com/2010/11/curah-hujan.html>
- Mikosch, T. (2008). *Copulas: Tales and Facts*. Denmark: Laboratory of Actuarial Mathematics, University of Copenhagen, Universitetsparken 5, DK-2100.
- Mulyana, E. (2002). Hubungan Antara ENSO dengan Variasi Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, Vol. 3*, 1-4.
- Murteira, J. M., & Lourenço, Ó. D. (2007). Health Care Utilization and Self-Assessed Health: Specification of Bivariate Models Using Copulas. *Health, Econometrics and Data Group*.
- Nelsen, R. B. (1998). *An Introduction to Copulas Second Edition*. USA: Springer.
- Sarachik, E. S., & Cane, M. A. (2010). *The El Nino-Southern Oscillation Phenomenon*. New York: Cambridge.
- Schölzel, C., & Friederichs, P. (2008). Multivariate Non-Normally Distributed Random Variables In Climate Research – Introduction to The Copula Approach. *Nonlin.Processes Geophys*, 15, 761–772.
- Sklar, A. (1959). Fonctions de répartition à n dimensions et leurs marges. *Publ. Inst. Statist. Univ. Paris* 8, 229-231.
- Stephens, M. (1974). EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons. *Journal of the American Statistical Association, Vol. 69, No. 347*, 730-737.
- Swarinoto, Y. S., Koesmaryono, Y., Aldrian, E., & Wigena, A. H. (2013). Pengaruh Time Lag SML sebagai Prediktor Dalam Model Sistem Prediksi Ensemble Pembobot

Prakiraan Hujan Bulanan di Kabupaten Indramayu.  
*Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 14 No.1*, 33-43.

Syahrir, I. (2011). *Estimasi Parameter Copula dan Aplikasinya pada Klimatologi*. Surabaya: Tesis Jurusan Statistika FMIPA ITS.

Walpole, R. E. (2007). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists Eighth Edition*. London: Pearson Education LTD.

Wang, A. (2010). Goodness-Of-Fit Tests For Archimedean Copula Models. *Statistica Sinica*, 441-453.

Zhu, Y., Ghosh, S. K., & Goodwin, B. K. (2008). Modeling Dependence in the Design of Whole Insurance Contract - A Copula-Based Model Approach.





## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 27 Desember 1992 dengan nama Kartika Nur 'Anisa' yang merupakan anak pertama dari pasangan Ansori dan Susini dengan seorang adik laki-laki bernama Husein Arya Wibisono. Penulis menempuh jenjang pendidikan yaitu SD Negeri Kalidawir IV, Tulungagung (1999-2005), SMP Negeri 1 Bandung, Tulungagung (2005-2008), SMA Negeri 1 Kauman, Tulungagung (2008-2011). Setelah lulus SMA, penulis diterima di Jurusan Statistika ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2011. Semasa kuliah, penulis tidak hanya menuntut ilmu akademis di kelas, namun juga aktif mengembangkan *softskills* melalui kegiatan organisasi di HIMASTA-ITS menjadi staf periode 2012/2013 dan menjadi Sekretaris Departemen Sosial Masyarakat periode 2013/2014, serta aktif di BEM ITS menjadi staf di Kementerian Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa periode 2012/2013. Selama menempuh pendidikan S1 penulis menerima beasiswa Bidik Misi (2011-2015). Beberapa prestasi diraih melalui karya tulis ilmiah yang penulis hasilkan, yaitu melalui PKM yang didanai dan mendapat juara 1 pada Lomba Karya Tulis Ilmiah Statistika UNDIP 2014. Penulis tertarik pada bidang sosial masyarakat. Penulis lebih menyukai hal-hal yang bersifat konseptual daripada teknikal. Penulis dengan senang hati dapat dihubungi melalui email: [anisa.kartika99@gmail.com](mailto:anisa.kartika99@gmail.com) atau jejaring sosial Facebook dengan username: kartika nur anisa.